Agriculture
Canada

Direction générale de la recherche
Research Branch

Bulletin technique 1986-2F

Description et interprétation de la macrostructure des sols minéraux – rapport préliminaire

Canada

Description et interprétation de la macrostructure des sols minéraux – rapport préliminaire

J.A. McKEAGUE, C. WANG et G.M. COEN
Centre de recherches sur les terres
Ottawa (Ontario)

Bulletin technique 1986-2F
Centre de recherches sur les terres Contribution n° 84-50

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1988

Pour obtenir des exemplaires de cette publication s'adresser au
Centre de recherches sur les terres
Direction générale de la recherche, Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

Production du Service aux programmes de recherche

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988
N° de cat.: A54-8/1986-2F
ISBN: 0-662-95163-8

Also available in English under the title
Describing and interpreting the macrostructure of mineral soils – a preliminary report

couverture
Les points sur la carte indiquent les établissements de recherche d'Agriculture Canada.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES ii

RÉSUMÉ 1

INTRODUCTION 3

EXAMEN DES CONCEPTS ET DÉFINITIONS 3
Systèmes de description de la répartition pédique 5
Systèmes de description des vides 7

ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DES SOLS 9
Système britannique 12
Système américain 13
Système canadien 13

SYSTÈME PROPOSÉ DE DESCRIPTION DE LA MACROSTRUCTURE DES SOLS 14
Définition de la structure du sol 14
Système simple 16
Système détaillé 17

MARCHE À SUIVRE POUR L'INTERPRÉTATION DE LA STRUCTURE DU SOL DU POINT DE VUE DES PROPRIÉTÉS DE CELUI-CI VIS-À-VIS DE L'AIR ET DE L'EAU 23
Conductivité hydraulique saturée (Ksat) 23
Densité apparente 35
Capacité minimale pour l'air 36
Capacité en eau disponible 39

DESCRIPTION DE LA MACROSTRUCTURE 43
Étapes de description de la macrostructure des sols 43

EXEMPLES D'INTERPRÉTATIONS BASÉES SUR LA MACROSTRUCTURE 50

CONCLUSIONS 53

REMERCIEMENTS 55

BIBLIOGRAPHIE 56

LISTE DE TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Descriptions de la macrostructure d'un pédon de Brandon par sept pédologues

Tableau 2. Abondance et classes de dimensions des vides

Tableau 3. Classes de consistance des peds

Tableau 4. Classes granulométriques des peds selon leur forme

Tableau 5. Lignes directrices pour l'estimation de la conductivité hydraulique saturée verticale (Kv)

Tableau 6. Lignes directrices pour l'estimation de la conductivité hydraulique saturée horizontale

Tableau 7. Lignes directrices pour l'estimation de la capacité minimale pour l'air

Tableau 8. Lignes directrices pour l'estimation de la capacité en eau disponible

Figure 1. Diagrammes permettant d'estimer en pourcentage la surface occupée par des vides arrondis dans une coupe de sol, habituellement horizontale.

Figure 2. Limites entre les classes de formes des peds.

Figure 3. Formes et dimensions (mm) des peds.

RÉSUMÉ

Les auteurs présentent un mode révisé de description et d'interprétation de la macrostructure des sols. On englobe dans le terme de structure la dimension, la forme et la disposition des vides et des agrégats. On propose des limites pour les dimensions minimales des vides et peds que l'on peut décrire avec sûreté sur le terrain. Il est très important au départ de déterminer l'objectif recherché avant de se lancer dans une description de la macrostructure et l'on présente deux niveaux de détail des descriptions. On juge suffisant le système simple de description de la macrostructure, qui est esquissé ici, pour beaucoup de travaux de recherche appliqués, tandis que le système détaillé convient à la caractérisation approfondie des pédons repères et à quelques applications précises. Les auteurs sont de l'avis que les descriptions macrostructurales doivent servir à estimer les propriétés du sol qui sont importantes pour les objectifs recherchés. On propose des lignes directrices pour estimer des propriétés telles que la conductivité hydraulique en milieu saturé, la capacité en eau disponible et la capacité minimale pour l'air, à partir d'information sur la structure et sur les autres propriétés du sol que l'on peut facilement déterminer sur le terrain. On doit périodiquement effectuer des mesures des propriétés du sol, pour vérifier les estimations basées sur les lignes directrices adoptées, et au besoin pour améliorer ces dernières. Les auteurs examinent, bibliographie à l'appui, la valeur des descriptions macrostructurales pour l'évaluation des effets de l'utilisation des terres sur l'état physique des sols.

INTRODUCTION

Depuis un demi-siècle, la description de la structure des sols fait partie de la caractérisation des sols sur le terrain, dans le cadre des opérations de levés des sols du Canada (Joel et al., 1936; Wyatt et al., 1939). Dans le premier manuel de levés des sols rédigé aux États-Unis (US Soil Survey Manuel), qui est aussi utilisé au Canada, Kellogg (1937) a écrit à propos de la structure : "Son importance pour la classification des sols et la détermination de la productivité de ces sols n'est pas exagérée". Dans la plupart des manuels récents rédigés aux États-Unis (Équipe de levés des sols, 1951, 1981) et au Canada (Day, 1983), on a perfectionné le mode de présentation des descriptions sur la structure des sols. Même si apparemment, l'importance de la structure est reconnue, celle-ci n'est pas décrite de façon uniforme par les différents pédologues (McKeague et Wang, 1982; tableau 1). En outre, il ne semble pas que l'on emploie de façon cohérente la structure pour élaborer des interprétations des données fournies par les levés des sols. Dans une grande mesure, l'enregistrement de l'information sur la structure fait habituellement partie de la description des sols au cours des opérations de prospection pédologique au Canada, et n'a pas de rôle plus important.

Périodiquement, on s'intéresse à la recherche sur la structure des sols. Par exemple, en 1959, ont été résumées dans les actes d'un colloque international sur la structure des sols une grande partie des recherches réalisées en Europe de l'Ouest durant toute cette décennie (voyez par exemple Jongerius, 1959 et Peerlkamp, 1959). Après un déclin durant les années 60 et le début des années 1970, la recherche sur la structure des sols s'est récemment intensifiée en partie grâce aux inquiétudes exprimées à propos du tassement des sols résultant des méthodes agricoles actuelles.

Dans ce bulletin, on se propose de résumer les méthodes les plus récentes de description et d'interprétation de la macrostructure des sols, et l'on suggère des améliorations qui seront examinées par la collectivité des pédologues et d'autres personnes qui s'occupent d'interprétation des sols au Canada. Dans ce bulletin, on résume la majeure partie de l'information fournie par McKeague et Wang (1982), et l'on poursuit avec des suggestions spécifiques concernant les définitions et les procédés à employer pour décrire et interpréter la macrostructure des sols. Le terme de macrostructure englobe les détails de la structure des sols qui sont perceptibles sur le terrain, surtout à l'oeil nu, mais aussi certains détails visibles avec une loupe de faible puissance (grossissement d'environ 10 x).

EXAMEN DES CONCEPTS ET DÉFINITIONS

Dans la notion de structure des sols, on considère principalement deux groupes : (1) celui où l'on considère uniquement la dimension, la forme et la disposition des constituants solides du sol, et (2) celui où l'on considère la dimension, la forme et la disposition des constituants solides et des vides simultanément. Le premier groupe prédomine en Amérique du Nord, comme l'illustrent les définitions suivantes formulées par les organismes de prospection pédologique au Canada et aux États-Unis.

a) "Le terme de structure des sols désigne l'agrégation des particules primaires de sols en particules composées qui sont séparées des agrégats adjacents par des plans de moindre résistance." (Day, 1983).

Tableau 1. Descriptions de la macrostructure d'un péton de Brandon par sept pédologues[1]

Horizon	Pédologue A	B	C	D	E	F	G
Ap 0-17 cm	moyennement - facilement séparable polyédrique subangulaire fin	moyennement - facilement séparable, granulaire fin et moyen	faiblement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen, à polyédrique subangulaire fin	faiblement séparable, polyédrique subangulaire composé à moyennement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen	faiblement - moyennement séparable, granulaire très fin à fin	facilement séparable, granulaire fin à faiblement séparable, granulaire très fin	moyennement - facilement séparable, polyédrique subangulaire et granulaire fin
Bg 17-24 cm	faiblement séparable, polyédrique subangulaire moyen, lamellaire fin in situ	faiblement séparable, polyédrique subangulaire fin	faiblement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen	faiblement séparable, polyédrique subangulaire moyen, à moyennement séparable, polyédrique subangulaire fin	faiblement séparable, polyédrique angulaire très fin à fin	facilement séparable, polyédrique angulaire moyen à granulaire fin à moyen	faiblement séparable, prismatique fin à moyennement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen
Bg2 24-53 cm	faiblement séparable, polyédrique subangulaire fin et moyen	faiblement - moyennement séparable, polyédrique subangulaire fin et moyen	faiblement - moyennement séparable, polyédrique subangulaire moyen - composé à faiblement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen	faiblement à moyennement séparable, polyédrique subangulaire, à moyennement séparable, polyédrique subangulaire	très faiblement séparable, polyédrique angulaire très fin à fin	moyennement - facilement séparable, polyédrique subangulaire composé à moyennement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen	faiblement séparable, polyédrique subangulaire composé à moyennement - faiblement séparable, polyédrique subangulaire fin

Tableau 1. (suite)

Horizon	Pédologue A	B	C	D	E	F	G
BCg 53-75 cm	moyennement séparable, subangulaire polyédrique moyen	moyennement séparable, subangulaire polyédrique fin à moyen	moyennement séparable, polyédrique subangulaire moyen - composé	faiblement séparable, polyédrique subangulaire moyen - composé à moyennement séparable, polyédrique subangulaire fin à moyen	faiblement séparable, polyédrique angulaire très fin à fin	moyennement séparable, polyédrique subangulaire composé à polyédrique subangulaire fin à moyen	faiblement séparable, polyédrique subangulaire composé à moyennement - facilement séparable, polyédrique angulaire moyen
Cg 75-100 cm	facilement séparable, polyédrique angulaire moyen composé, lamellaire in situ	moyennement - facilement séparable, polyédrique angulaire moyen	moyennement séparable, polyédrique subangulaire moyen - composé	facilement séparable, columnaire moyen - composé, à moyennement - facilement séparable, polyédrique subangulaire moyen	moyennement à facilement séparable, polyédrique angulaire moyen - composé à moyennement séparable, polyédrique angulaire fin à moyen	facilement séparable, polyédrique angulaire moyen - composé, à moyennement séparable, polyédrique angulaire fin à moyen	moyennement séparable, polyédrique angulaire moyen à moyennement - facilement séparable, polyédrique angulaire fin

[1]Dans les structures composées, les unités les plus grandes se divisent en plus petites - Le pédon a été décrit le 31 mai le 1er juin 1979, dates auxquelles le niveau phréatique se situait à 52 cm de la surface (McKeague et Wang, 1982).

b) La structure du sol (distribution pédique) désigne l'organisation naturelle des particules du sol en unités. Celles-ci sont séparées par des surfaces de moindre résistance. Ces surfaces subsistent pendant plus d'un cycle d'humidification et de dessiccation in situ. On appelle toute unité naturelle individuelle un ped (Équipe de levés des sols, Soil Survey Staff, 1981).

La seconde notion, selon laquelle on inclut les vides dans la structure des sols, est adoptée dans une grande partie de l'Europe de l'Ouest. Le terme de "vide" désigne une portion du sol non occupée par des solides; le terme équivalent de "pore" est employé dans de nombreuses publications. Jongerius (1959) de l'Institut de Pédologie des Pays-Bas (Netherlands Soil Survey Institute) a défini la structure comme étant "la répartition spatiale des constituants élémentaires et de leurs agrégats et des cavités présentes dans le sol". Dans le manuel britannique de pédologie intitulé British Soil Survey Handbook (Hodgson, 1976), il est indiqué que "la structure du sol désigne la forme, la dimension et, éventuellement, le degré d'agrégation des particules primaires de sol en unités structurales constituées naturellement ou artificiellement (peds, mottes, fragments artificiels et naturels), et la disposition spatiale de ces unités y compris la description des vides (pores et fissures) entre les agrégats et à l'intérieur de ceux-ci."

Systèmes de description de la répartition pédique

On présente de façon sommaire le système esquissé dans le manuel américain de levés des sols (U.S. Soil Survey Manual, équipe de levés des sols, 1951), puisqu'il constitue le cadre à partir duquel on a édifié les systèmes le plus couramment employés. Le système en question est principalement basé sur trois attributs des agrégats de sols ou peds, que l'on distigue des mottes, fragments et concrétions. Ces attributs sont :

1. Le type (configuration et répartition des péds) - lamellaire, prismatique, en blocs polyédriques, et sphéroïde ou polyédrique avec faces non jointives (par exemple, face courbe convexe d'un ped vis-à-vis d'une face plane d'un autre ped). On a subdivisé les types fondamentaux de la façon suivante :

columnaire - prismatique avec sommet arrondi
granulaire - sphéroïde ou polyédrique avec faces non jointives, relativement non poreux
miette - sphéroïde, très poreux
polyédrique subangulaire - polyédrique à nombreuses arêtes arrondies

2. Classe (granulométrie) - la plupart des types sont subdivisés en quatre classes granulométriques
Par exemple : polyédrique subangulaire - fin < 10 mm, moyen 10-20 mm, grossier 20-50 mm, très grossier > 50 mm

3. La stabilité (résistance mécanique) inclut à la fois la durabilité des agrégats et les proportions de produits agglomérés et non agglomérés. Pour définir la stabilité, on emploie les termes suivants : non structuré, structures faible, moyenne et forte. Pour déterminer le degré de stabilité, on se base sur des observations du sol in situ et des matériaux de sol remanié.

On doit aussi décrire les structures composées. Par exemple : séparation polyédrique prononcée, grossière, angulaire, jusqu'à polyédrique moyennement fine et moyennement angulaire.

Système américain (Équipe de levés des sols, 1981) - Le système employé pour décrire la distribution pédique est presque le même que celui décrit dans le manuel de 1951, mais les qualificatifs de cette distribution sont la forme, la dimension et la stabilité. On cherche aussi à préciser la distinction entre des mottes (résultant d'une perturbation du sol) et des fragments (limités par des plans éphémères) d'une part, et des peds d'autre part; on se propose de décrire toutes ces unités.

Manuel britannique de pédologie (British Soil Survey Handbook, Hodgson, 1976) - Ce système de description de la répartition pédique suit en général celui adopté dans le manuel de 1951. On cherche à y décrire les mottes et les fragments artificiels ou naturels en fonction de leur forme, de leur dimension et de leur consistance.

Comité expert canadien sur les levés des sols (Day, 1983) - Ce système diffère de celui esquissé par l'équipe américaine de levés des sols (U.S. Soil Survey Staff, 1951) par les détails suivants :

- "Sorte" est employée comme subdivision du "type" de ped, par exemple le type polyédrique subangulaire est une "sorte" du "type" polyédrique.
- "On emploit comme modificateurs de la "sorte" de répartition pédique les termes pseudo, stratifié, lité et laminé.
- On introduit le terme de mottes pour indiquer l'état (non défini) de certaines surfaces labourées.
- Les termes de polyédrique et granulaire indiquent seulement la forme des peds, non leur arrangement.
  (Aux États-Unis, le système "granulaire" comprend les peds de diverses formes, si les faces des peds ne sont pas jointives).

Systèmes de description des vides

Dans l'édition de 1951 du manuel américain de levés des sols (U.S. Soil Survey Manual), largement employé au Canada, ne figuraient pas de descriptions des vides. Johnson et al. (1960) ont esquissé un système de description des vides du sol, et l'ébauche du nouveau manuel inclut un système similaire (équipe de levés des sols, 1981). On décrit les vides en fonction de leur quantité, de leur dimension et de leur forme de la façon suivante :

Quantité (nombre de vides par cm^2 dans le cas de vides < 2 mm de diamètre, et par dm^2 dans le cas des vides > 2 mm).
On définit trois classes : peu nombreux - moins de 1, assez nombreux - 1 à 5, nombreux - plus de 5.

Dimension (diamètre). On identifie quatre classes :
Très fine, moins de 0,5 mm; fine, 0,5 à 2 mm; moyen, 2 à 5 mm; grossière, plus de 5 mm. On peut compter séparément les pores dépassant 10 mm. Les vides plus petits que 0,075 mm sont des microvides; on ne les décrit pas sur le terrain.

Forme. La plupart des vides décrits sont soit vésiculaires (sphériques ou elliptiques), soit tubulaires (approximativement cylindriques). Certains peuvent être irréguliers. Dans la plupart des cas, on ne décrit que les vides internes.

Le système canadien actuel de description des vides du sol (Day, 1983) diffère à certains égards de celui adopté aux États-Unis.

1. On estime la porosité totale des sols minéraux : légèrement poreux, < 40 % d'espace poreux en volume; moyennement poreux, 40 à 60 % d'espace poreux; fortement poreux, > 60 % d'espace poreux.

2. On estime la capacité minimale pour l'air (pourcentage du volume de sol occupé par de l'air à -5 kPa) des sols minéraux, et l'on propose des lignes directrices générales pour définir les classes. Ces classes sont : faible, < 5 %, moyenne, 5-15 % et élevée > 15 %; elles diffèrent de celles employées par la British Soil Survey (Hodgson, 1976).

3. On cherche à décrire les vides en fonction de leur abondance et de leur dimension. Les cinq classes granulométriques sont comprises entre la dimension microscopique (< 0,1 mm) et grossière (5-10 mm).

4. D'autres qualificatifs qui peuvent être attribués aux vides sont :

Orientation :	verticale, horizontale, aléatoire, oblique
Distribution :	impédique, expédique
Morphologie :	simple, dendritique, fermée
Continuité :	continu dans tout l'horizon, discontinu
Types :	vésiculaire, interstitiel, tubulaire; on s'intéresse surtout aux vides non plans.

Dans le système britannique (Hodgson, 1976), on inclut les vides dans la description de la structure. Le système employé pour estimer et consigner la nature des vides diffère à plusieurs égards des systèmes auparavant décrits.

1. On estime les volumes des vides supérieurs à 0,2 µm et supérieurs à 60 µm (équivalents à des vides remplis d'air à environ -1500 et -5 kPa respectivement) en fonction de la densité de tassement et de la texture.

2. On décrit et l'on classe à la fois les vides plans (joints ou fissures) et les vides tubulaires ou sphériques selon leurs dimensions de la façon suivante : vides plans (fissures) entre les peds ou mottes : très fins, < 1 mm de large, fins, 1-3 mm, moyens, 3-5 mm, grossiers, 5-10 mm, très grossiers, > 10 mm.
   Vides tubulaires ou autres vides non plans : très fins, < 0,5 mm, fins, 0,5-2 mm, moyens, 2-5 mm, grossiers, > 5 mm.

3. On donne des chiffres qui facilitent l'estimation du pourcentage volumétrique des vides dans une gamme donnée de dimensions (figure 1). Comme dans les autres systèmes, on recommande si possible de noter la continuité et l'orientation des vides.

ÉVALUATION DES SYSTÈMES DE DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DU SOL (Y COMPRIS LA RÉPARTITION PÉDIQUE ET LA POROSITÉ).

Cette évaluation porte sur les systèmes esquissés par les organismes chargés des levés des sols aux États-Unis (équipe de levé des sols, Soil Survey Staff, 1981), en Grande-Bretagne (Hodgson, 1976) et au Canada (Day, 1983). Elle est basée sur notre évaluation simultanée des principes utilisés et de l'application des systèmes de prospection pédologique. En principe, il semble que les systèmes dans lesquels la porosité fait partie intégrante de la structure des sols sont préférables aux autres. La porosité est le détail le plus important de l'organisation physique du sol du point de vue de la relation entre la présence d'eau et la présence d'air. On peut considérer le sol comme un réseau de trous dans lequel l'eau et l'air peuvent s'écouler ou être retenus. La dimension, la forme et la disposition des trous sont intimement associées à celles des particules primaires et des aggrégats. Ainsi, la porosité fait partie intégrante de la structure du sol, et probablement joue le rôle le plus important d'un point de vue pratique.

Il peut sembler sans importance que l'on décrive les vides dans le cadre de la structure du sol, ou comme un détail particulier de la morphologie du sol, mais ce n'est pas le cas. Pour décrire la répartition pédique d'un sol, les pédologues doivent rechercher les traces de vides plans (fissures) qui séparent entièrement ou partiellement les peds. Pour examiner les différences entre les surfaces de peds et l'intérieur de ceux-ci, ils doivent rechercher des vides internes plus grands que 0,5 mm environ. On peut plus facilement déceler les vides en effectuant une description de la répartition pédique, qu'en cherchant à décrire indépendamment ces vides. Inversement, et sans doute plus à propos, on peut observer et décrire les peds en même temps que l'on décrit les vides.

Autre argument qui nous incite à décrire la porosité dans le cadre de la structure, les pédologues pourraient ainsi s'intéresser autant à la description des vides qu'à la description des peds. Même depuis l'introduction de systèmes de description de la porosité des sols en Amérique du Nord, il est encore rare que l'on emploie ces systèmes dans la plupart des descriptions pédologiques, et parfois les vides ne sont pas mentionnés du tout. On peut vérifier ce détail en passant rapidement en revue quelques mémoires pédologiques récents et pris au hasard.

Un autre principe important que l'on doit appliquer à la description de la structure des sols lors de la prospection pédologique, est que l'on doit chercher à observer directement les détails facilement discernables à l'oeil nu et en même temps, si possible, chercher à déduire les détails des propriétés du sol trop petits pour être discernables mais perceptibles au toucher. Par exemple, on peut estimer au toucher la teneur en argile d'un sol humide, et déduire de la densité due au tassement et de la texture le nombre de vides supérieurs à 0,2 µm (Hodgson, 1976). Par le passé, on a surtout cherché, tant bien que mal, à examiner des fragments de peds au moyen d'un loupe, pour déceler les vides très fins, lesquels n'ont parfois pas été décrits du tout. Habituellement, on a ignoré les macrovides tels que les galeries creusées par des lombrics et les grands vides plans.

Sur la base des principes énoncés plus haut, dans notre évaluation des trois systèmes de description de la structure des sols, nous préférons le système britannique aux autres (Hodgson, 1976) pour deux raisons principales. On a inclus la porosité dans la notion de structure, et on l'a précisé des modes d'utilisation des données obtenues sur la structure, dans le but d'estimer la capacité minimale pour l'air et la capacité en eau disponible. Toutefois, certaines caractéristiques du système canadien (Day, 1982) et du système adopté par l'équipe américaine de levé des sols (1981) semblent préférables à celles du système britannique.

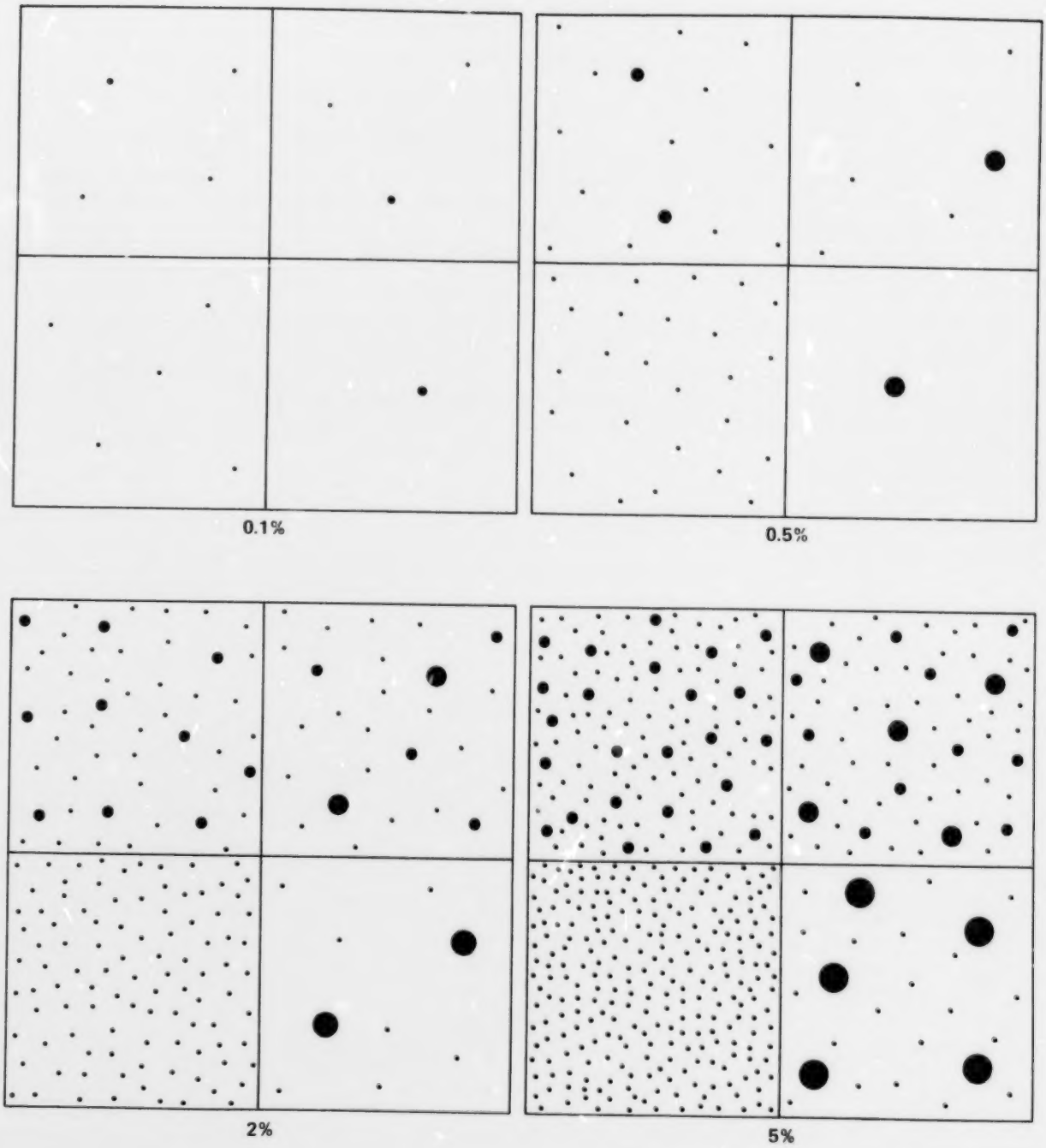


Figure 1. Diagramme aidant à estimer le pourcentage que représentent en surface les vides arrondis présents dans une coupe de sol, habituellement pratiquée à l'horizontale d'après Hodgson, 1976).

On indique brièvement quelques avantages et inconvénients associés à chacun de ces systèmes.

Système britannique (1976)

Les deux principaux avantages du système britannique ont été établis au paragraphe précédent. Un autre avantage est que ce système inclut la description des fragments et mottes dans la structure. Ceci implique qu'il n'est pas toujours précisé si les agrégats de sol sont des peds, des mottes ou des fragments. On suppose que les peds persistent pendant plusieurs cycles d'humidification et de dessication, mais il est difficile d'évaluer la durabilité des peds, surtout de ceux qui ont une faible cohésion. Lorsqu'on applique correctement le système britannique, on est certain de décrire la dimension, la forme et la répartition des vides et agrégats, qu'ils soient jugés "naturels" ou "artificiels". On désigne les agrégats des horizons de surface cultivés par les termes de fragments (ou mottes). Il convient de noter que dans le système britannique, les "fragments" sont des mottes de petite taille (< 10 cm). Les mottes sont des agrégats formés par le travail du sol, le gel et le dégel du sol, et elles sont moins durables que les peds.

On énumère ci-dessous quelques problèmes présentés par le système britannique.

1. Comme les systèmes canadien et américain, il n'explique pas suffisamment bien les étapes que comprend le processus d'évaluation du degré d'agrégation, pour assurer une uniformité suffisante dans la caractérisation.

2. Les limites entre le caractère lamellaire et polyédrique, et entre le caractère polyédrique et prismatique ne sont pas indiquées avec précision. Il en résulte un certain degré d'ambiguïté. Par exemple, un ped de 2,5 cm x 2 cm x 1 cm (hauteur) est-il polyédrique ou lamellaire? Le même problème se présente avec les systèmes canadien et américain.

3. Les dimensions des peds polyédriques et prismatiques qu'il faut mesurer en vue d'une détermination granulométrique, ne sont pas indiquées. Supposons qu'un ped ait la forme d'un cube de 19 mm. Si les axes orthogonaux du cube sont les principales dimensions, on considère ce ped comme étant polyédrique moyen; mais si la dimension oblique du cube est la dimension principale, on le considère comme étant polyédrique grossier.

4. Deux qualificatifs (degré d'organisation de la masse de sol en peds distincts et résistance mécanique des peds) sont combinés dans la notion de degré d'agrégation ou de stabilité. Supposons que la masse de sol soit presque entièrement composée de peds polyédriques subangulaires moyens, distincts, facilement séparables, mais que l'on puisse écraser très facilement ces peds. On ne sait pas si le degré d'agrégation est faible, moyen ou élevé. On rencontre ce problème avec les deux autres systèmes.

5. Ce système suppose que l'on peut décrire sur le terrain les vides de 0,06 à 0,5 mm de largeur ou de diamètre. Il n'est pas possible d'observer directement la dimension, la forme et l'abondance de ces vides.

Système américain (Équipe de levé des sols, Soil Survey Staff, 1981)

Les termes utilisés sont bien définis, et les dimensions déterminant les classes granulométriques des peds sont bien précisées. Mais ce système présente plusieurs problèmes.

1. Même si les différences entre peds, fragments et mottes sont définies, il est très peu probable que celles-ci soient établies de façon consistante par les pédologues. Ainsi, l'un d'eux pourrait décrire un horizon C comme ayant une structure lamellaire moyenne, très grossière, mais l'autre, jugeant que les unités lamellaires sont des fragments, pourrait décrire l'horizon comme dépourvu de structure.

2. La porosité n'est pas traitée comme un détail de la structure, et les vides plans ne figurent habituellement pas dans la description de la porosité.

3. Il est sous-entendu que l'on peut évaluer sur le terrain la quantité, la dimension et la forme des vides de 0,075 à 0,5 mm de diamètre, mais aucune instruction n'est donnée.

4. Les étapes que comprend le processus de description de la structure ne sont pas présentées de façon à faciliter l'élaboration de descriptions cohérentes par les divers pédologues. Par exemple, dans un paragraphe sur les sols non structurés, on trouve la citation suivante : "aucun ped n'est observable sur place ou après un léger dérangement d'un échantillon de sol, obtenu par exemple en cognant légèrement une bêche contenant une petite tranche de ce sol contre une surface dure, en laissant tomber un gros fragment au sol, ou en lançant en l'air un fragment et en le rattrapant." Toute personne ayant vu un groupe de pédologues suivre ces instructions sait qu'ils sont parvenus à des conclusions différentes. Il n'est peut-être pas possible de formuler des directives toujours cohérentes à propos de la description du degré de répartition pédique.

Système canadien (Day, 1983)

Le système canadien partage la plupart des avantages et faiblesses du système américain. De plus, le système canadien comporte quelques problèmes supplémentaires, à savoir :

1. La structure que l'on juge d'origine non pédologique, et habituellement héritée, se distingue de la structure que l'on juge d'origine pédologique. Les modificateurs suivants sont employés avec la "sorte" (forme) de termes appliqués aux peds pour indiquer une structure non pédologique : pseudo (hérité du matériau parental), stratifié (en

couches), lité (en couches de plus d'un centimètre d'épaisseur), laminé (couche de moins d'un centimètre d'épaisseur). Généralement, il est difficile d'évaluer si les agrégats des horizons inférieurs d'un sol résultent de processus pédologiques ou géologiques, ou des deux à la fois. L'application du terme "pseudo" est souvent peu cohérente. Si l'on veut décrire l'organisation physique des sols, l'origine de cette dernière est sans importance. En outre, on ne doit pas employer comme modificateur des types de peds des termes tels que stratifié, lité et laminé; ces couches ne sont pas des peds, même si elles sont un détail important de l'organisation physique du sol.

2. L'introduction du terme de capacité minimale pour l'air est un progrès, mais l'on dispose seulement de vagues directives quant à l'estimation de cette capacité.

3. Les formulaires de codage employés dans les descriptions pédologiques n'offrent d'espace que pour enregistrer une seule sorte de vide par horizon.

SYSTÈME PROPOSÉ DE DESCRIPTION DE LA MACROSTRUCTURE DES SOLS

On propose dans le texte qui suit une définition et un cadre meilleurs pour décrire la macrostructure du sol.

Définition de la structure du sol (d'après Brewer, 1964)

La structure du sol est la constitution physique du matériau de sol, exprimée par la dimension, la forme et la disposition des particules de sol (y compris des particules primaires et des particules composées) et des vides. La fabrique est l'élément de la structure qui concerne la répartition.

La macrostructure du sol est le détail de la structure du sol que l'on peut percevoir à l'oeil nu ou à l'aide d'une loupe de faible grossissement; elle représente l'aspect de la structure du sol que l'on peut décrire sur le terrain. La macrostructure comprend les unités solides plus grandes que 0,5 mm, les vides plus ou moins cylindriques ou sphériques dépassant 0,5 mm et les vides plans dépassant 0,2 mm de large. On peut estimer la largeur des vides plans en désséchant et en humidifiant alternativement le sol. Il est souhaitable d'estimer la teneur en eau de chaque horizon décrit, ou au moins d'indiquer s'il est sec (plus sec que -1500 kPa), humide (-1 à -1500 kPa) ou humide (plus humide que -1 kPa).

La microstructure du sol décrit cette partie de la structure que l'on ne peut observer facilement sur le terrain. Elle représente à la fois la dimension, la forme et la disposition des unités solides et des vides plus petits que 0,5 mm. On peut décrire la microstructure par des méthodes micromorphologiques (Brewer, 1964). On peut estimer certains détails de la microstructure d'après d'autres propriétés du sol que l'on évalue sur le terrain comme indiqué dans le paragraphe sur l'interprétation de la structure.

La définition donnée ci-dessus de la structure du sol fait appel à une notion de la structure qui diffère de celle habituellement adoptée au Canada (Day, 1983). Les différences sont les suivantes :

- les vides sont considérés comme une partie de la structure,
- les unités primaires et les unités composées sont considérées comme un élément de la structure (on décrit les dimensions, la forme et la disposition des particules primaires lorsqu'elles se présentent sous forme d'unités isolées dans certains matériaux graveleux).

- On suggère une limite inférieure pour les dimensions des particules, des agrégats et des vides qui se prêtent à une description sur le terrain (macrostructure).

Système simple

En trouvant un système idéal pour décrire la macrostructure du sol, on pourrait facilement caractériser la structure à différents niveaux de détail, combiner les vides et les particules solides en une seule notion, et fournir l'information nécessaire aux interprétations. Au niveau le moins détaillé, ce système devrait être simple et seulement utilisé par des non spécialistes. On présente ensuite l'ébauche d'un système provisoire simple. On subdivise la structure en 7 classes et 14 sous-classes. On doit décrire chaque horizon comme étant sec, humide ou mouillé.

I Ne contient pas un réseau organisé de macrovides et peds.
  IA Le matériau est massif et cohérent.
  IB Le matériau est meuble ou à grains individuels.

II Comporte un réseau de vides tubulaires plus ou moins verticaux (canaux) dans un matériau apédique.
  IIA Des canaux de 0,5 mm de diamètre ou plus occupent 0,1 à 0,5 % du volume. On peut estimer le volume des vides tubulaires en employant des diagrammes avec diverses densités de points (figure 1, d'après Hodgson, 1976).
  IIB Les canaux susmentionnés occupent plus de 0,5 % du volume.

III Un réseau de fissures plus ou moins verticales traverse l'horizon; les vides plans horizontaux sont plus ou moins bien formés ou même absents.
  IIIA Les fissures occupent moins de 1 % du volume et des canaux verticaux ayant plus de 0,5 mm de diamètre occupert moins de 0,1 % du volume. (On peut estimer le volume des fissures en mesurant la largeur totale des fissures dans un transect d'un mètre de long; par exemple, quatre fissures de 2 mm de large dans un transect d'une longueur de 1 m indiqueraient que le volume occupé par les fissures est de 0,8 %).
  IIIB Les fissures occupent plus de 1 % du volume, ou bien ces fissures existent en occupant moins de 1 % du volume, et des canaux dépassant 0,5 mm de diamètre occupent plus de 0,1 % du volume.

IV Un réseau de vides plans plus ou moins horizontaux divise partiellement ou entièrement le matériau en unités lamellaires comportant moins de 0,1 % de vides tubulaires verticaux.
  IVA Les vides plans sont mal définis.
  IVB Les vides plans sont nettement définis.

V Un réseau de vides plans orientés dans des directions plus ou moins horizontales et verticales sépare partiellement ou entièrement le matériau en peds polyédriques ou prismatiques, et les vides tubulaires verticaux occupent moins de 0,1 % du volume.

VA Les vides plans sont peu développés, et les peds partiellement formés adhèrent les uns aux autres.
VB Un réseau plan bien développé sépare en peds la majeure partie du matériau.

VI Des vides tubulaires verticaux occupent 0,1 à 0,5 % du volume et il existe des réseaux de vides plans verticaux et horizontaux.
VIA Les vides plans sont faiblement développés et les peds lamellaires, polyédriques ou prismatiques partiellement formés adhèrent les uns aux autres.
VIB Les vides plans sont bien développés et la majeure partie du matériau se présente sous forme de peds.

VII Des vides tubulaires verticaux occupent plus de 0,5 % du volume et il existe des réseaux de vides plans verticaux et horizontaux.
VIIA Les vides plans sont faiblement développés et les peds partiellement formés adhèrent les uns aux autres.
VIIB Les vides plans sont bien développés et la majeure partie du matériau se présente sous forme de peds.

Il est possible de baser les interprétations de la Ksat, et des autres propriétés des sols vis-à-vis de l'air et de l'eau, sur le simple système que l'on vient d'esquisser. Par exemple, la classe VIIB serait caractérisée par une valeur Ksat verticale très élevée.

Système détaillé

La description de la structure à un niveau plus détaillé doit comprendre l'information distincte relative à la dimension, à la forme et à la disposition des vides et des constituants solides simultanément. Les éléments requis se trouvent dans l'un ou plusieurs des systèmes qui ont été présentés de façon résumée dans un paragraphe antérieur. Dans le système que nous proposons maintenant, nous avons sélectionné et modifié dans certains cas les éléments des systèmes employés en Grande-Bretagne, aux États-Unis et au Canada.

Description des macrovides

On décrit les macrovides en fonction de leur quantité, de leurs dimensions, de leur forme et de leur orientation, et en particulier de leur continuité à l'intérieur de l'horizon décrit. La dimension ou calibre, c'est-à-dire à la fois la largeur et la longueur des vides plans, dépend de la teneur en eau du sol au moment où est faite la description; on doit estimer ou mesurer celle-ci. Les dimensions des vides tubulaires et sphériques sont davantage indépendantes de la teneur en eau du sol.

Vides plans : Ceux-ci comprennent à la fois les plans interpédiques et les fissures de retrait. On peut noter la quantité de vides dans le sens vertical et le sens horizontal.
Peu nombreux : moins d'un plan par 10 cm.
Assez nombreux : 1 à 4 plans par 10 cm.
Nombreux : plus de 4 plans par 10 cm.

Le calibre (largeur) est classé de la façon suivante.
Très fin : < 0,2 mm de large (déduit de l'observation des peds, ou observé à la loupe)
Fin : 0,2-0,5 mm de large
Moyen : 0,5-2 mm de large
Grossier : 2-5 mm de large
Très grossier : 5-10 mm
Extrêmement grossier : plus de 10 mm de large (précisez la largeur).

Orientation et continuité : On emploie dans la description des termes tels que vertical, horizontal, oblique, continu dans tout l'horizon, ou discontinu. On peut employer aussi les termes de vides plans assez nombreux, continus, verticaux et horizontaux, fins.

Vides tubulaires et autres vides non plans. On note les vides de 0,5 mm de diamètre ou plus. Les termes définissant la quantité et la dimension (tableau 2) sont tirés des travaux de Day (1983), mais les classes plus petites que le calibre "fin" ne sont pas comptées. On dénombre dans un secteur approprié les vides dépassant 10 mm de diamètre.

Tableau 2. Abondance et classes de dimension ou de calibre des vides.

Classe	Fin 0,5-2 mm	Moyen 2-5 mm	Grossier 5-10 mm
	Nombre moyen par décimètre carré		
Peu nombreux	<10	<1	<1
Assez nombreux	10-50	1-5	1-3
Nombreux	50	≥5	≥3

Une autre méthode, qui permet de combiner la dimension et l'abondance, consiste à estimer le pourcentage du volume occupé par des vides de dimensions différentes, en employant des diagrammes avec diverses densités de points (figure 1).

On indique la forme et la continuité en employant les termes courants suivants : tubulaire, sphérique, de forme irrégulière, continu dans tout l'horizon, isolé, ramifié.

Ainsi, on peut décrire une grande galerie creusée par un lombric comme étant un vide tubulaire simple, grossier, vertical, continu dans tout l'horizon. On peut estimer l'abondance des vides tubulaires de dimensions différentes d'après des diagrammes (figure 1) et l'exprimer de la façon suivante : les vides tubulaires fins et moyens occupent environ 0,5 % du volume.

On doit noter dans quelle mesure les vides plans et autres sont reliés entre eux.

Description de la structure des constituants solides.

On doit appliquer le système que l'on vient de décrire aux peds, mottes et fragments définis de la façon suivante :

Les peds sont des unités naturelles de sol qui persistent d'une saison à l'autre. On peut généralement les distinguer des fragments et mottes de la façon suivante : les peds restent approximativement identiques au cours des diverses saisons, leurs dimensions et formes se situent généralement dans une gamme relativement étroite, leurs surfaces sont généralement lisses et peuvent être couvertes d'un enduit (ceci n'est pas courant dans le cas des peds des horizons Ah ou Ap). Dans certains cas, il est impossible d'établir une distinction entre peds, mottes ou fragments. Les mottes et fragments sont des unités de sol créées par la perturbation du sol; les mottes ont plus de 10 cm, vues en coupe moyenne, et les fragments ont moins de 10 cm. Les unités de sol présentes dans des horizons Ap récemment cultivés (depuis quelques mois) sont considérées comme des fragments ou des mottes, non comme des peds.

On décrit les peds en fonction de quatre grands caractères : degré de séparation, consistance, forme et dimension; on applique les mêmes qualificatifs aux mottes et aux fragments. Les termes de degré de séparation et de consistance remplacent celui de "stabilité" (Day, 1983), parce que ce dernier comprend à la fois le degré auquel le matériau se sépare en peds et la durabilité de ces derniers. Les termes sont ainsi définis :

Degré de séparation. Aptitude d'une masse de sol à se séparer en peds.

élevé - les peds sont nettement visibles in situ, et au moins les trois quarts de la masse se séparent facilement en peds non fragmentés;
moyen - les peds sont visibles in situ, et plus d'un quart mais moins des trois quarts du matériau se séparent facilement en peds non fragmentés. (On peut vérifier la proportion de peds en tamisant avec précaution le sol à travers une série de tamis de dimensions appropriées).
faible - les peds sont à peine observables in situ et moins d'un quart du matériau se sépare facilement en peds non fragmentés. Dans certains horizons où la répartition pédique est médiocre, le matériau se compose de peds partiellement formés qui adhèrent fortement les uns aux autres. Les vides plans séparant partiellement ces peds sont étroits et facilitent peu la circulation de l'eau.
apédique - ce terme correspond à une répartition pédique existante. Les peds ne sont visibles ni in situ ni dans le matériau de sol fragmenté.

On définit les degrés intermédiaires de la façon suivante :
"Moyen à élevé", bien plus de la moitié de la masse se sépare en peds non fragmentés.
"Faible à moyen", presque le quart de la masse se sépare facilement en peds complets.
"Très faible", certains peds partiellement formés sont visibles dans un matériau presque apédique.

Consistance

Notez la consistance des peds primaires, secondaires, etc. (tableau 3). Dans le cas des horizons apédiques, déterminez la consistance d'un cube de sol de 25 mm de côté.

Forme

Lamellaire : Les unités sont plates et habituellement orientées à l'horizontale. La dimension la plus petite représente moins de la moitié (½) de la moyenne des deux autres dimensions (figure 2). Par exemple, si les dimensions x, y et z sont 5 x 4 x 2 cm, l'unité est lamellaire $\frac{2}{(5 + 4)/2} < \frac{1}{2}$

Lamellaire lenticulaire - Les lamelles sont le plus épaisses au milieu (au moins 50 % de plus que l'épaisseur moyenne près du bord de l'unité).

Prismatique - Les peds sont limités par des faces verticales relativement planes dont la plupart se recoupent à angles aigus; la dimension z dépasse la moyenne des dimensions x et y au-delà de 1,5 fois (figure 2). Le sommet des prismes est habituellement plat.

Columnaire - Les peds ressemblent à des prismes, excepté que les bords verticaux sont arrondis à proximité des sommets; les sommets peuvent être arrondis ou plats.

Polyédrique angulaire - Les peds polyédriques sont plus ou moins équidimensionnels et jointifs (les faces planes à légèrement arrondies des peds sont les empreintes des faces adjacentes). La plupart ($\geq$ 50 %) des faces se recoupent à angles aigus. La dimension z des unités représente 0,5 à 1,5 fois la moyenne des dimensions x et y.

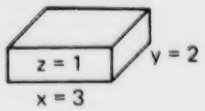
Polyédrique subangulaire : Identique à polyédrique angulaire, excepté que la plupart (> 50 %) des angles entre les faces sont arrondis.

Granulaire : Les peds sont soit plus ou moins sphériques soit polyédriques, avec des faces non jointives.

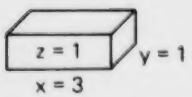
Tableau 3 : Classes de consistance des peds (d'après l'ébauche du manuel américain de levé des sols, U.S. Soil Survey Manual, équipe de levé des sols [Soil Survey Staff], 1981).

Épreuve in situ	Consistance des peds		
	Force (newtons)	Séché à l'air	0,1 bar
Le ped s'écrase ou se fragmente sous une pression très faible.	8 N	tendre	très friable
Le ped s'écrase ou se fragmente lorsqu'on applique une force légère avec le pouce et l'index.	8-20 N	légèrement dur	friable

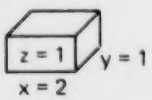
Épreuve in situ	Force (newtons)	Consistance des peds	
		Séché à l'air	0,1 bar
Le ped s'écrase ou se fragmente lorsqu'on applique une force modérée avec le pouce et l'index.	20-40 N	légèrement dur	ferme
Le ped s'écrase ou se fragmente lorsqu'on applique une force importante avec le pouce et l'index.	40-80 N	dur	très ferme
On ne peut fragmenter le ped en appuyant avec le pouce et l'index, mais on peut l'écraser en le pressant entre les deux mains.	80-160 N	très dur	extrêmement ferme
On ne peut fragmenter le ped avec les mains, mais une personne pesant 80 kilos peut l'écraser avec son pied en appliquant le poids avec lenteur.	160-800 N	extrêmement dur	extrêmement dur



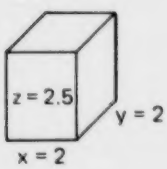
$z = 0.4 \frac{(x + y)}{2}$ • Lamellaire



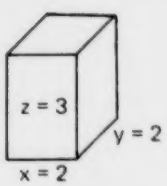
$z = 0.5 \frac{(x + y)}{2}$ • Polyédrique, presque lamellaire



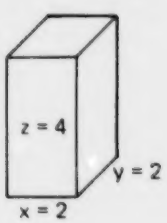
$z = 0.67 \frac{(x + y)}{2}$ • Polyédrique



$z = 1.25 \frac{(x + y)}{2}$ • Polyédrique



$z = 1.5 \frac{(x + y)}{2}$ • Polyédrique, presque prismatique



$z = 2 \frac{(x + y)}{2}$ • Prismatique

Figure 2. Limites entre les classes de configuration des peds.

Granulométrie

La gamme granulométrique des peds fins, moyens, grossiers et très grossiers varie en fonction de leur forme (tableau 4 et figure 3). Notez que la dimension déterminant la classe granulométrique est spécifiée (tableau 4).

Tableau 4 : Classes granulométriques des peds selon leur forme.

	Forme du ped			
	Dimension la plus petite mm		Dimension la plus grande mm	
	Lamellaire[1]	Prismatique et Columnaire	Polyédrique	Granulaire
Fine				
Moyenne				
Grossière				
Très grossière				

[1] Dans le cas d'un ped lamellaire-lenticulaire, mesurez la partie la plus épaisse de la lamelle.

MARCHE À SUIVRE POUR L'INTERPRÉTATION DE LA STRUCTURE DU SOL DU POINT DE VUE DES PROPRIÉTÉS DE CELUI-CI VIS-À-VIS DE L'AIR ET DE L'EAU

On décrit habituellement la structure dans le but d'obtenir une caractérisation fondamentale des sols. La description de la structure du sol est utile dans la mesure où elle nous permet d'évaluer avec fiabilité les propriétés des sols vis-à-vis de l'air et de l'eau, telles que : la capacité minimale pour l'air à -5 kPa, la conductivité hydraulique saturée à la fois dans la direction verticale et la direction horizontale, et la capacité de rétention d'eau dans la gamme d'accessibilité de l'eau aux plantes. L'information sur la structure pourrait aussi aider à évaluer la susceptibilité des sols à l'érosion et au tassement. On propose une marche à suivre pour effectuer ces interprétations; mais on les a peu mises à l'épreuve, et il ne fait pas de doute qu'on peut les améliorer. Il faudra progressivement évaluer et réviser les lignes directrices, à mesure que l'on disposera de données sur le lien entre la morphologie et les propriétés mesurées d'une vaste gamme de sols pour toutes les régions du Canada.

Conductivité hydraulique saturée (Ksat)

En Alberta, dans le sud de l'Ontario et dans les Provinces Maritimes, on a continué à mettre à l'épreuve et à réviser des lignes directives provisoires élaborées par McKeague et al. (1982) pour l'évaluation de la Ksat verticale (Kv) d'après la structure et les autres propriétés du sol. Les lignes directrices selon lesquelles on estime la Ksat horizontale (Kh) sont basées sur des essais préliminaires réalisés seulement dans la région d'Ottawa (Wang et al., 1985). Les classes modifiées de Ksat actuellement acceptées par le Comité d'experts sur la prospection pédologique (Eilers, 1985) servent à estimer la Ksat. On a élaboré

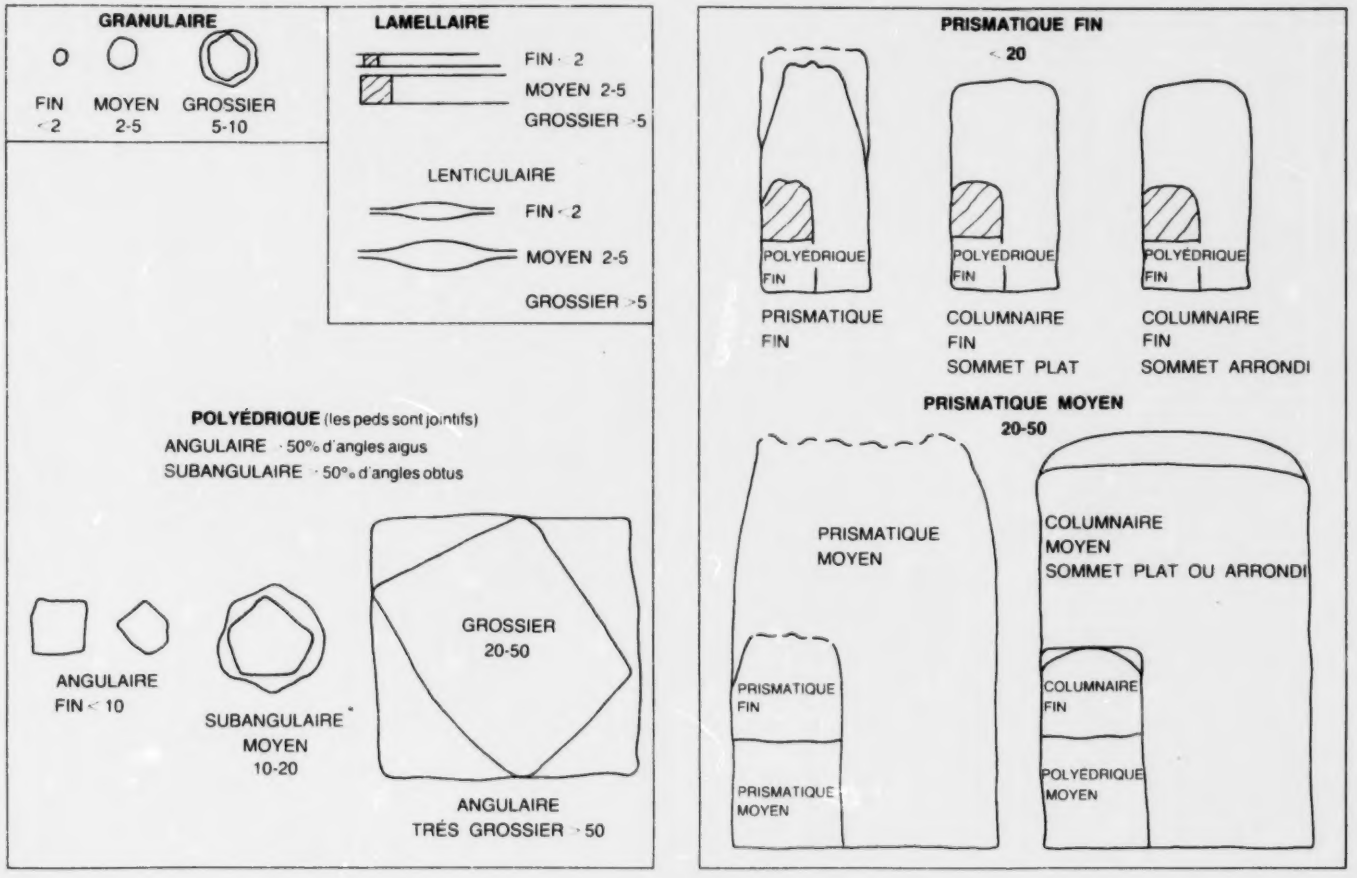


Figure 3. Formes et dimensions (en mm) des peds.

les lignes directrices en corrélant la morphologie du sol avec les valeurs Ksat mesurées au moyen du perméamètre à entrée d'air (Topp et Binns, 1976) pour évaluer Kv, ou mesurées par la méthode piézométrique modifiée (Topp et Sattlecker, 1983) pour évaluer Kh.

Les lignes directrices employées pour évaluer la Ksat (Kv et Kh) sont basées sur des relations entre les valeurs mesurées obtenues dans des horizons spécifiques et la structure de ceux-ci (porosité et répartition pédique), leur texture, leur consistance, leur tassement, et les combinaisons de ces propriétés. On évalue la structure comme indiqué dans ce bulletin, et l'on estime la texture au toucher, et aussi par des méthodes d'étalonnage basées sur l'emploi d'échantillons de référence.

De toute évidence, la macroporosité est de première importance pour déterminer la Ksat. Pour évaluer l'abondance, la dimension et la continuité des macropores, on doit examiner des coupes verticales et horizontales pratiquées à travers des horizons. On peut estimer l'abondance des canaux, des vides cylindriques, en comparant une coupe horizontale nettoyée de 30 cm x 30 cm avec la figure 1. Dans les lignes directrices, on indique des limites spécifiques relatives au pourcentage de la surface qu'occupent les canaux. Les pourcentages limites sont :

0,5 %, approximativement 400 canaux de 4 mm de dimamètre. m^{-2}
0,2 %, approximativement 160 canaux de 4 mm, ou 640 canaux de 2 mm. m^{-2}
0,1 %, approximativement 80 canaux de 4 mm, ou 1280 canaux de 1 mm. m^{-2}
0,02 %, approximativement 16 canaux de 4 mm, 64 canaux de 2 mm, 250 canaux de 1 mm ou 1000 canaux de 0,5 mm. m^{-2}

Il n'est pas possible d'estimer exactement le pourcentage d'une surface occupé par des canaux, mais l'emploi de limites précises permet d'éviter toute ambiguïté. On doit évaluer la continuité des canaux au moyen d'observations précises, ou avec l'emploi d'eau teintée; du bleu de méthylène à 0,1 % convient.

La répartition pédique est importante du point de vue de l'évaluation de la Ksat, parce que le degré de séparation des peds indique l'intégrité et la continuité des vides plans interpédiques, et aussi parce que la dimension des peds indique l'espacement de ces vides. Dans certains cas, en particulier dans des horizons relativement secs et argileux, on peut estimer directement la largeur des vides plans interpédiques (plans de largeur supérieure à 0,2 mm). Cependant, dans la plupart des cas, on déduit la largeur des plans interpédiques d'après le degré de séparation des peds. Dans les horizons caractérisés par une structure polyédrique ou prismatique prononcée, par exemple, les principaux vides plans ont généralement 100 à 500 µm de large, si l'on se base sur les quelques données dont on dispose actuellement. Les vides plans situés dans des horizons caractérisés par une faible structure polyédrique ont généralement moins de 50 µm de large et ne sont pas continus.

On considère que les fissures de retrait contribuent à élever les valeurs de la Ksat, bien que ces fissures se ferment probablement lorsque le sol est entièrement saturé. Dans le cas des horizons fortement fissurés, il est utile d'estimer la Ksat, à la fois celle de la masse de sol contenant les fissures, et

celle des prismes ou polyèdres limités par les fissures. La seconde valeur est probablement comparable à celle obtenue pour les sols saturés dont les fissures se sont refermées. Les lignes directrices relatives à l'estimation des fissures et autres vides plans ne conviennent pas dans le cas des horizons B solonetziques, ni probablement dans le cas des autres horizons loameux ou argileux qui gonflent rapidement au contact de l'eau. Les essais réalisés en Alberta ont montré que les horizons B solonetziques contenant des peds columnaires grossiers séparés par des vides plans gonflaient lorsqu'on ajoutait de l'eau, et présentaient des valeurs Kv se situant dans les classes L lorsqu'elles étaient mesurables.

On évalue la consistance d'après des étalons (Day, 1983). Elle n'est pas liée à l'abondance des vides dans la gamme de 50 à 500 µm; on ne peut distinguer facilement ceux-ci, mais ils ont une influence sur la Ksat. On évalue le tassement au toucher et par des observations. Un horizon compact contient des particules étroitement tassées, est habituellement massif, et montre une consistance ferme à très ferme dans les matériaux loameux ou argileux, et sa densité apparente est élevée en raison de sa texture. Les racines traversent difficilement un horizon compact, et souvent pas du tout.

Pour appliquer les lignes directrices, il est essentiel d'employer les définitions données dans ce bulletin. Par exemple, on considère généralement que les horizons chernozémiques A (Ah ou Ap) ont une structure granulaire fine prononcée, que certains ont effectivement. Cependant, les agrégats de nombreux horizons A chernozémiques cultivés ont -0,5 mm de diamètre, et il est difficile de dire si ce sont des micropeds ou des microfragments. On doit qualifier ces horizons de non structurés ou d'apédiques selon les notions présentées dans ce bulletin. Tout matériau friable se décompose facilement en petits fragments; on ne peut considérer ces derniers comme des peds, à moins qu'il ne s'agisse d'unités naturelles distinctes que l'on peut percevoir et décrire de façon consistante.

Les lignes directrices n'englobent pas toutes les combinaisons de propriétés du sol, et l'on doit faire preuve de jugement en plaçant certains horizons dans une classe de Ksat. On énumère quelques-uns des détails à considérer pour formuler une évaluation.

1. La largeur des vides plans et la distance entre ceux-ci jouent un rôle critique dans les horizons contenant peu de canaux (< 0,02 %). Par exemple, les horizons contenant des prismes très grossiers (comme 30 cm de diamètre) limités par des plans de moindre résistance, mais ne contenant pas de vides plans ouverts, se distinguent généralement peu des horizons massifs du point de vue de leur Ksat. Également, les vides plans étroits qui ne se prolongent pas dans tout l'horizon contribuent peu à élever la Ksat.

2. La quantité de matériaux fins (limons, argiles, matière organique humifiée, complexes organo-minéraux) dans des matériaux sableux fins, a une grande influence sur la Ksat. Par exemple, la Ksat d'un sable fin ne contenant que 5 % de limon et argile, et dont la densité apparente serait de 1,4 $Mg.m^{-3}$, se situerait probablement dans la classe H1. Le même matériau possédant approximativement la même densité apparente, mais contenant en poids 3 à 4 % de matière organique humifiée ou d'un

autre matériau amorphe comblant partiellement les espaces intergranulaires, aurait probablement une valeur Ksat se situant dans la classe M3.

Notez que les lignes directrices s'appliquent aux horizons de sol. La Ksat verticale d'un pédon est approximativement celle de l'horizon de plus faible Ksat à l'intérieur de ce pédon.

Lignes directrices pour l'évaluation de Kv

Tout détail ou toute combinaison de détails répertoriés dans chaque classe de Kv sont associés à des valeurs Kv à l'intérieur de cette même classe. On résume les lignes directrices dans le tableau 5.

Tableau 5. Lignes directrices permettant d'évaluer la conductivité hydraulique saturée verticale (Kv)[1]

Tout détail ou toute combinaison de détails répertoriés dans chaque classe sont associés à des valeurs de Kv à l'intérieur de cette même classe.

H2 > 50 cm/h (> 139 µm/s)

1. Sable moyen ou plus grossier, meuble à friable, pas de strates fines, et horizon B podzolique, sableux à loameux grossier, de densité apparente $\leq$ 1,0 $Mg.m^{-3}$, ou
2. Fissures de $\geq$ 2 mm de large, se prolongeant à travers l'horizon; les fissures sont distantes de $\leq$ 20 cm, ou
3. Plus de 0,5 % de l'horizon se compose de canaux dont le diamètre est $\geq$ 0,5 mm; plus de la moitié des canaux traversent l'horizon, ou
4. Peds facilement séparables, polyédriques fins ou granulaires; les peds se séparent facilement ou
5. Combinaisons de fissures, canaux, répartition pédique équivalente à 2, 3 ou 4.

H1 15-50 cm/h (42-139 µm/s)

1. Sable fin à moyen avec peu de matériaux plus fins, ou sable loameux moyen ou plus grossier, meuble à friable, non compact, ou
2. Fissures visibles plus étroites que 2 mm dans tout l'horizon, espacées de $\leq$ 20 cm, ou
3. Des canaux $\geq$ 0,5 mm de diamètre occupent 0,2-0,5 % de l'horizon; plus de la moitié d'entre eux traversent l'horizon, ou

M2 1,5-5 cm/h (4,2-14 µm/s)

1. Sable fin à sable loameux, strates minces plus fines, non structurées ou lamellaires, friables, < 0,1 % canaux, ou
2. Loam à argile moyennement tassés, répartition pédique faible, 0,02-0,1 % de canaux, ou
3. Loam ou argile, peds moyennement séparables, de type polyédrique moyen à grossier, peds de consistance ferme, -0,02 % de canaux, ou
4. Combinaisons de propriétés équivalentes aux propriétés susmentionnées.

M1 0,5-1,5 cm/h (1,4-4,2 µm/s)

1. Sable loameux non structuré, stratifié, strates de matériaux plus fins dépassant 1 mm d'épaisseur, friable, < 0,02 % de canaux, ou
2. Matériau loameux non structuré, de densité apparente 1,5 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$, non compact, < 0,02 % de canaux, ou
3. Argile, peds faiblement à moyennement séparables, polyédriques ou prismatiques, de consistance ferme, peds adhérents fortement jointifs, < 0,02 % de canaux.

L3 0,15-0,5 cm/h (0,42-1,4 µm/s)

1. Matériau sableux avec strates limoneuses ou argileuses $\geq$ 1 cm

Tableau 5 (suite)

4. Peds moyennement à faiblement séparables, polyédriques fins à moyens ou prismatiques fins, ou

5. Combinaisons de détails équivalents à 2, 3 ou 4.

M3 5-15 cm/h (14-42 µm/s)

1. Sable loameux à loam sableux, non structuré, pas de strates fines, non compact, ou

2. Des canaux $\geq$ 0,5 mm occupent 0,1 à 0,2 % du volume, plus de la moitié traversent l'horizon; les canaux dépassant 5 mm sont rares, structure non existante à faible, texture plus fine que celle d'un loam sableux fin lorsque le matériau n'est pas compact, ou

3. Loameux, de structure inexistante à faible; de nombreux vides ($\leq$ 0,5 mm, friable, de faible canaux $\geq$ 0,5 mm, ou

4. Moyennement fin à moyennement polyédrique, ou polyédrique moyen à grossier et moyennement à facilement séparable, < 0,1 % de canaux, plus fin que loam sableux fin lorsque le matériau n'est pas tassé, ou

5. Combinaisons de détails équivalents à 2, 3 ou 4.

d'épaisseur, > 0,02 % de canaux, ou

2. Matériau massif à faiblement séparable, polyédrique ou prismatique grossier, non compact, de consistance ferme, loameux ou argileux, < 0,02 % canaux.

L2 0,05-0,15 cm/h (0,14-0,42 µm/s)

1. Matériau cimenté ou fortement compact, massif, sableux à loameux, de densité apparente 1,6 $Mg.m^{-3}$ ou plus, pas de canaux, ou

2. Matériau massif, compact loameux ou argileux, de densité apparente 1,4 $Mg.m^{-3}$ ou plus, pas de canaux.

L1 < 0,05 cm/h (< 0,14 µm/s)

1. Matériau induré sableux à loameux, les matériaux fins comblent les espaces intergranulaires, pas de macropores, ou

2. Matériau argileux massif, compact sans macropores, ou

3. Horizon placique continu.

[1] Ces directives ne s'appliquent pas aux horizons B solonetziques; les quelques horizons mesurés se situent dans les classes L quelle que soit leur structure. Consultez le texte pour obtenir les détails sur les lignes directrices.

H2 > 50 cm/h (> 139 µm/s)

1. Texture de sable moyen ou plus grossier, meuble à friable, pas de strates de matériau plus fin, ou très friable, horizons B podzoliques sableux à loameux grossiers, de densité apparente 1,0 $Mg.m^{-3}$ ou moins, ou
2. De grandes fissures ($\geq$ 2 mm) se prolongent à travers l'horizon; la fissuration a donné naissance à des polygones de diamètre < 20 cm, ou
3. Plus de 0,5 % de l'horizon est occupé par des canaux (vides tubulaires) de diamètre $\geq$ 0,5 mm; au moins la moitié des canaux se prolongent à travers l'horizon, ou
4. Peds facilement séparables, polyédriques fins (ou granulaires); le matériau se sépare facilement en peds, ou
5. Combinaisons de canaux, de fissures, et répartition pédique équivalents à 2, 3 ou 4. Par exemple, 0,2 % de canaux $\geq$ 2 mm et une structure polyédrique moyennement fine à moyennement polyédrique donneraient probablement une valeur de Kv dans la classe H2.

H1 15-50 cm/h (42-139 µm/s)

1. Texture de sable fin à moyen, avec très peu de matériau plus fin ou texture de sable loameux moyen ou plus grossier, meuble à friable, non compact, ou
2. Fissures de moins de 2 mm de large, mais visibles à l'oeil nu dans tout l'horizon; les polygones délimités par les fissures ont un diamètre < 20 cm, ou
3. Les canaux de diamètre $\geq$ 0,5 mm occupent 0,2 à 0,5 % du volume de l'horizon, et au moins la moitié d'entre eux sont continus dans tout l'horizon (un grand nombre de petits canaux ou quelques canaux très gros de diamètre $\geq$ 5 mm peuvent être équivalents), ou
4. Degré de séparation moyen à élevé, polyédrique fin à moyen ou prismatique fin (ceci suggère qu'il existe entre les peds des vides plans ouverts presque continus) ou
5. Combinaisons de fissures, canaux et vides interpédiques qui ensemble sont équivalents à 2, 3 ou 4.

M3 5-15 cm/h (14-42 µm/s)

1. Texture d'un sable loameux fin à celle d'un loam sableux, non structuré, pas de strates de matériau fin, non compact, ou
2. Approximativement 0,1 à 0,2 % de canaux $\geq$ 0,5 mm, dont au moins la moitié se prolongent dans tout l'horizon; < 0,02 % de gros canaux ($\geq$ 5 mm); structure non existante ou faible; texture plus fine que celle d'un loam sableux fin si le matériau n'est pas tassé, ou
3. Loameux, non structuré, faiblement structuré ou lamellaire avec un très grand nombre de vides très fins (< 0,5 mm) dans un matériau friable de faible densité apparente avec < 0,1 % de canaux > 0,5 mm.
4. Moyennement fin ou polyédrique moyen avec peds faiblement adhérents, ou degré de séparation moyen à élevé, polyédrique moyen à grossier; < 0,1 % de canaux se prolonge à travers l'horizon; la texture est plus fine que celle d'un loam sableux fin lorsque le matériau n'est pas tassé, ou
5. Combinaisons de détails qui ensemble sont équivalents à 1, 2, 3 ou 4.

M2 1,5-5 cm/h (4,2-14 µm/s)

1. Sable fin à sable loameux avec minces strates de matériaux plus fins (employez une loupe), non structuré ou lamellaire, friable, < 0,1 % de canaux se prolonge à travers l'horizon.
2. Matériau loameux à argileux moyennement tassé, avec répartition pédique faiblement développée (peds adhérents partiellement formés); 0,02-0,1 % de canaux $\geq$ 0,5 mm dont certains traversent l'horizon, ou
3. Matériau loameux ou argileux à degré moyen de séparation, polyédrique moyen à grossier, avec peds fermes et denses, < 0,02 % de canaux, ou
4. Combinaisons de canaux et de vides interpédiques équivalents à 2 ou 3.

M1 0,5-1,5 cm/h (1,4-4,2 µm/s)

1. Sable loameux non structuré, stratifié, les strates les plus fines ont plus de 1 mm d'épaisseur, friable, avec < 0,02 % de canaux traversant l'horizon, ou
2. Matériau loameux non structuré, friable, de densité apparente 1,5 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$, non compact, < 0,02 % de canaux, ou
3. Matériau argileux, degré de séparation faible à moyen, structure polyédrique ou prismatique moyenne à grossière, peds étroitement jointifs, de consistance ferme, adhérents, < 0,02 % de canaux traversant l'horizon.

L3 0,15-0,5 cm/h (0,42-1,4 µm/s)

1. Matériau sableux avec strates limoneuses ou argileuses continues de 1 cm d'épaisseur ou davantage, et < 0,02 % de canaux, ou
2. Matériau loameux ou argileux massif ou à faible degré de séparation, polyédrique ou prismatique moyen à grossier, non compact, avec peds étroitement jointifs (lorsqu'ils existent), < 0,02 % de canaux > 0,5 mm, et quelques vides très fins visibles à la loupe, ou
3. Quelques horizons B solonetziques.

L2 0,05-0,15 cm/h (0,14-0,42 µm/s)

1. Matériau sableux à loameux, cimenté ou fortement compact, de densité apparente 1,6 ou davantage, dans lequel la plupart des vides interparticulaires sont comblés par des matériaux fins, aucun canal ne traverse l'horizon, ou
2. Matériau massif à très grossier, polyédrique ou prismatique, avec plans de moindre résistance essentiellement fermés entre les peds, comme dans certains fragipans, compacts, loameux ou argileux, sans canaux, de densité apparente de 1,4 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
3. Quelques horizons B solonetziques.

L1 < 0,05 cm/h (< 0,14 µm/s)

1. Matériau sableux à loameux, induré, contenant assez de matériaux fins pour combler les espaces intergranulaires (certains horizons duriques), ou
2. Matériau argileux massif, compact, sans vides conducteurs visibles, ou
3. Horizon placique continu, fortement cimenté
4. Quelques horizons B solonetziques.

Tableau 6. Lignes directrices permettant d'estimer la conductivité hydraulique saturée horizontale (Kh)[1]

Tout détail ou toute combinaison de détails répertoriés dans chaque classe sont associés à des valeurs Kh situées dans cette classe.

H2 > 50 cm/h (> 139 µm/s)

1. Sable moyen ou plus grossier, meuble à friable, ou
2. Fissures $\geq$ 2 mm de large, et distantes de $\leq$ 20 cm, se prolongeant à travers l'horizon, ou
3. Matériau stratifié avec $\geq$ 50 % de sable moyen ou grossier sur son épaisseur.

H1 15-50 cm/h (42-139 µm/s)

1. Sable fin à moyen, un peu de matériau plus fin, ou sable loameux moyen ou grossier, friable, non compact, ou
2. Fissures visibles de largeur $\leq$ 2 mm et distantes de $\leq$ 20 cm se prolongeant à travers l'horizon, ou
3. Matériau sableux fin avec minces strates de sable à moyen ou grossier, ou
4. Matériau à degré de séparation moyen à élevé, polyédrique fin à moyen ou nettement lamellaire.

M3 5-15 cm/h (14-42 µm/s)

1. Sable loameux fin à loam sableux, non structuré, friable, non compact, ou
2. Loam sableux avec minces strates de sable fin ou de sable fin loameux, ou

M1 0,5-1,5 cm/h (1,4-4,2 µm/s)

1. Non structuré, loameux, de densité apparente 1,5 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$, friable, non compact, pas de strates plus grossières, ou
2. Argile, polyédrique ou prismatique à degré de séparation faible à moyen, peds étroitement jointifs et moyennement adhérents.

L3 0,15-0,5 cm/h (0,42-1,4 µm/s)

1. Matériau loameux, massif, moyennement compact, ou
2. Argile non compact, polyédrique ou prismatique moyenne à grossière, massive ou avec un faible degré de séparation, avec peds étroitement jointifs.

L2 0,05-0,15 cm/h (0,14-0,42 µm/s)

1. Matériau sableux à loameux, cimenté ou fortement compact, de densité apparente 1,6 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
2. Matériau loameux à argileux massif, moyennement compact, avec macrovides très peu nombreux ou absents.

L1 < 0,05 cm/h (< 0,14 µm/s)

1. Matériau sableux à loameux, induré, massif, matériau fin remplissant des espaces intergranulaires, ou

Tableau 6 (suite)

3. Matériau loameux non structuré à faiblement structuré, friable, de faible densité apparente, avec de nombreux vides < 0,5 mm, ou	2. Argile massive, fortement compacte, sans macrovides.
4. Matériau loameux à argileux, polyédrique fin ou moyen à degré moyen de séparation, ou polyédrique moyen à grossier à degré moyen à élevé de séparation.	
M2 1,5-5 cm/h (4,2-14 µm/s)	
1. Matériau loameux à argileux moyennement tassé, de faible répartition pédique, friable, non compact, ou	
2. Loam à argile, à degré moyen de séparation, polyédrique moyen à grossier, avec peds de ferme consistance.	

[1] Les lignes directrices n'ont pas été évaluées pour les classes L. D'après des essais limités de mesure de Kv dans des horizons B solonetziques, ceux-ci se situent probablement dans les classes L relativement à Kh. Les lignes directrices concernant les classes H et M ne doivent pas être appliquées aux horizons B solonetziques.

Lignes directrices applicables à kH (qui ont au moins fait l'objet de vérifications que les lignes directrices applicables aux mesures de Kv)

Ces lignes directrices sont résumées au tableau 6.

H2 > 50 cm/h (> 139 µm/s)

1. Texture de sable moyen ou plus grossier, meuble à friable, ou horizons B podzoliques sableux très friables à loameux grossiers, de densité apparente 1,0 $Mg.m^{-3}$ ou moins, ou
2. Grandes fissures ($\geq$ 2 mm) se prolongeant à travers l'horizon; les fissures sont distantes de $\leq$ 20 cm, ou
3. Les strates de matériau sableux moyen ou plus grossier sont plus épaisses ou de même épaisseur que les strates composées de matériau sableux plus fin, ou
4. Matériau à degré élevé de séparation, polyédrique fin, granulaire ou lamellaire.

H1 15-50 cm/h (42-139 µm/s)

1. Texture de sable fin à moyen, avec très peu de matériau plus fin, ou sable loameux moyen à grossier, friable, non compact, ou
2. Fissures visibles de moins de 2 mm de large et distantes de $\leq$ 20 cm, se prolongeant à travers l'horizon, ou
3. Minces strates de sable moyen ou de matériaux plus grossiers, et strates plus épaisses de matériau sableux plus fin, ou
4. Matériau à degré de séparation moyen à élevé, polyédrique ou lamellaire fin à moyen.

M3 5-15 cm/h (14-42 µm/s)

1. Texture de sable loameux fin à loam sableux, non structuré, friable, non compact, ou
2. Minces strates de sable fin ou sable fin loameux dans un matériau surtout de type loam sableux, ou
3. Matériau loameux, non structuré ou faiblement structuré, friable, de densité apparente faible, avec nombreux vides très fins (< 0,5 mm), ou
4. Matériau loameux à argileux polyédrique fin ou moyen à degré de séparation moyen, ou polyédrique moyen à grossier à degré de séparation moyen à élevé, avec vides interpédiques étroits.

M2 1,5-5 cm/h (4,2-14 µm/s)

1. Matériau moyennement tassé, loameux à argileux, avec répartition pédique faiblement développée, de caractère friable et non compact, ou
2. Matériau loameux ou argileux à degré moyen de séparation, polyédrique moyen à grossier, avec peds denses, de ferme consistance.

M1 0,5-1,5 cm/h (1,4-4,2 µm/s)

1. Matériau non structuré, loameux, de densité apparente 1,5 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$, friable, non compact, sans strates de matériaux plus grossiers, ou
2. Matériau argileux à degré de séparation faible à moyen, de structure polyédrique ou prismatique, peds étroitement jointifs et moyennement adhérents.

L3 0,15-0,5 cm/h (0,42-1,4 µm/s)

1. Matériau loameux massif, moyennement compact, ou
2. Matériau argileux, de caractère massif à faiblement séparable, moyennement ou grossièrement polyédrique ou prismatique, non compact, avec peds étroitement jointifs, ou
3. Quelques hozizons B sononetziques.

L2 0,05-0,15 (0,14-0,42 µm/s)

1. Matériau sableux à loameux cimenté ou fortement compact, de densité apparente 1,6 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, la plupart des vides interparticulaires (interstices) sont comblés par des matériaux fins ou
2. Matériau soit loameux à argileux massif, soit polyédrique, soit prismatique très grossier avec plans de moindre résistance essentiellement fermés entre les peds comme dans certains fragipans, macrovides très peu nombreux ou absents, ou
3. Quelques horizons B solonetziques.

L1 < 0,05 cm/h (< 0,14 µm/s)

1. Matériau sableux ou loameux, induré et massif, contenant suffisamment de produits fins pour combler les espaces intergranulaires (quelques horizons duriques), ou
2. Matériau argileux massif fortement compact, sans macrovides, traversant l'horizon, ou
3. Quelques horizons B solonetziques.

Les lignes directrices s'appliquant à Kv, et surtout celles s'appliquant à Kh, ne comportent pas de liste complète des détails morphologiques du sol qui normalement sont associés à la classe Ksat appropriée. Pour appliquer ces lignes directrices, il est nécessaire de faire une extrapolation des caractères énumérés aux détails observés dans l'horizon examiné. On pourrait élaborer des lignes directrices plus simples et plus spécifiques pour certaines régions, et l'on voudrait suggérer des améliorations. En appliquant ces lignes directrices, on a pu estimer dans plus de 80 % des cas la classe Ksat correcte ± 1 (McKeague et Wang, 1982; Wang et al. 1985 a et b).

Densité apparente

On peut estimer au dixième le plus proche, sur le terrain, le poids de sol minéral séché au four par unité de volume au moment de l'échantillonnage (maintenant exprimé en $Mg.m^{-3}$, autrefois en $g.cm^{-3}$). On obtient les estimations en soupesant une motte de sol ayant un certain degré d'humidité, et en comparant cet échantillon à des mottes provenant d'horizons dans lesquels ou a mesuré la densité apparente. On ne peut formuler aucune ligne directrice claire, mais il est possible de donner des estimations raisonnables si l'on inspecte périodiquement la "consistance" des mottes comparativement à certaines valeurs mesurées. De toute évidence, les argiles retiennent beaucoup plus d'eau que les sols sableux sous la même pression. Ainsi, un cube d'argile de 5 cm de côté soumis à une pression de -5 kPa est nettement plus lourd qu'un cube de sable moyen de 5 cm de côté soumis à la même pression, lorsque les deux échantillons ont la même densité apparente.

On donne ici quelques exemples de densités apparentes associées aux propriétés des horizons.

Moins de 1,0 $Mg.m^{-3}$:	Quelques horizons B podzoliques très friables ayant une teneur élevée en matériaux amorphes.
1,0 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$:	Quelques horizons Ah ou Ap loameux à argileux, très friables, contenant moins de 5 % de matière organique.
1,2 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$:	Quelques horizons B loameux fins à argileux fins, friables, contenant des peds polyédriques fins, avec degré de séparation moyen à élevé.
1,4 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$:	Quelques horizons B loameux-argileux à argileux contenant des peds de consistance ferme, moyennement séparables, prismatiques moyens.
1,6 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$:	Quelques argiles à loams compacts; quelques horizons B inférieurs et C, friables, sableux-loameux à loameux-sableux.
1,8 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$:	Quelques fragipans et quelques tills de fond loameux.
2,0 ± 0,1 $Mg.m^{-3}$:	Quelques horizons duriques et quelques matériaux fortement tassés de large gamme granulométrique.

On a jusqu'à présent procédé à peu d'essais relatifs aux possibilités d'estimer la densité apparente, mais les résultats préliminaires sont prometteurs. On a estimé la densité apparente de deux tiers des horizons analysés avec une précision de 0,1 $Mg.m^{-3}$ par rapport à la valeur mesurée (moyenne des valeurs de trois carottes d'échantillonnage).

Capacité minimale pour l'air

On peut estimer d'après la densité de tassement et d'après la texture (Hodgson, 1976) la capacité minimale pour l'air, c'est-à-dire la proportion du volume de sol, y compris des fragments grossiers, occupée par l'air à -5 kPa (vides $\geq$ 60 mm). On a obtenu que des résultats médiocres après avoir fait un essai limité de cette méthode. Dans le système provisoire décrit, on suit essentiellement la méthode britannique, mais on insiste davantage sur la macrostructure, et l'on emploie davantage la densité apparente que la densité de tassement. Les classes estimées de capacité minimale pour l'air sont celles employées en Grande-Bretagne (Hodgson, 1976); on peut aussi estimer la capacité minimale pour l'air au centième (1 %) le plus proche. Jusqu'à présent, on a peu testé les lignes directrices, et l'on a traité partiellement des conditions pédologiques. Ces lignes directrices sont résumées dans le tableau 7.

Très légèrement poreux (< 5,0 % en volume)

1. Matériau argileux massif contenant quelques macrovides, et de densité apparente 1,3 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
2. Matériau argileux faiblement à moyennement séparable, polyédrique ou prismatique moyen à grossier, avec peds étroitement jointifs, quelques canaux, de densité apparente habituellement 1,4 $Mg.m^{-3}$ ou davantage.
3. Matériau loameux, dont une grande partie de la fraction sableuse est fine ou très fine, de densité apparente 1,5 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
4. Matériau sableux cimenté de densité apparente 1,8 $Mg.m^{-3}$ ou davantage; les espaces intergranulaires sont presque comblés.

Légèrement poreux (5,0-9,9 %)

1. Matériau argileux de densité apparente 1,2 à 1,3 $Mg.m^{-3}$; peds polyédriques moyens, à degré de séparation moyen, avec approximativement 1 % de macrovides (vides plans $\geq$ 0,2 mm et vides tubulaires $\geq$ 0,5 mm) ou
2. Matériau loameux de densité apparente approximative 1,4 $Mg.m^{-3}$, peds polyédriques moyens, à degré de séparation faible à moyen, avec approximativement 1 % de macrovides, ou
3. Sable fin à sable loameux fin, de densité apparente dépassant 1,5 $Mg.m^{-3}$.

Moyennement poreux (10,0-14,9 %)

1. Matériau argileux de densité apparente 1,2 $Mg.m^{-3}$ ou moins; peds polyédriques fins à moyens, à degré de séparation moyen à élevé, contenant plus de 1 % de macrovides, ou
2. Matériau loameux de densité apparente 1,3 $Mg.m^{-3}$ ou moins; peds friables, polyédriques fins à moyens, à degré de séparation moyen à élevé, contenant approximativement 1 % de macrovides, ou
3. Sable loameux fin à moyen, de densité apparente 1,5 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, contenant peu de macrovides.

Très poreux (15,0-20,0 %)

1. Matériau argileux de densité apparente 1,1 $Mg.m^{-3}$ ou moins, peds facilement séparables, fins, friables, contenant plus de 1 % de macrovides, ou
2. Matériau loameux de densité apparente 1,3 $Mg.m^{-3}$ ou moins; peds fins, poreux, facilement séparables, et contenant plus de 1 % de macrovides, ou
3. Sable loameux moyen de densité apparente 1,4 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
4. Horizons B podzoliques friables sableux à loameux grossiers, de densité apparente 1,1 $Mg.m^{-3}$ ou moins.

Extrêmement poreux (> 20 %)

1. Sables fins contenant moins de 5 % de limon + argile + matière organique ou tout autre composant amorphe, ou
2. Graviers, sables moyens à grossiers, sables grossiers loameux contenant très peu de matériaux fins, et sables fins à moyens contenant moins de 10 % de matériaux plus fins.

Notes sur les lignes directrices concernant l'emploi de la capacité minimale pour l'air

1. Les classes granulométriques et texturales sont celles indiquées par Day (1983).
2. Pour les nombreuses combinaisons de la texture, de la densité apparente et de la structure qui ne sont pas mentionnées dans les lignes directrices, il est nécessaire de faire des extrapolations à partir des exemples cités.

Tableau 7. Lignes directrices concernant l'estimation de la capacité minimale pour l'air (0-5 kPa)[1]

VSP, très légèrement poreux, < 5 %

1. Matériau massif, argileux, peu de macrovides, densité apparente ≥ 1,3, ou
2. Matériau argileux, faiblement à moyennement séparable, polyédrique grossier, quelques canaux, de densité apparente ≥ 1,4, ou
3. Loameux, de densité apparente ≥ 1,5, ou
4. Matériau sableux, cimenté, espaces intergranulaires presque comblés, de densité apparente ≥ 1,8

SP, légèrement poreux, 5,0-9,9 %

1. Matériau argileux, de densité apparente 1,2 m-1,3, moyennement séparable, polyédrique moyen, environ 1 % de macrovides, ou
2. Matériau loameux, de densité apparente environ 1,4, moyennement séparable, polyédrique moyen, environ 1 % de macrovides, ou
3. Sable fin à sable loameux fin, densité apparente > 1,5.

MP, moyennement poreux 10-14,9 %

1. Argileux, de densité apparente ≤ 1,2, moyennement à facilement séparable, polyédrique fin à moyen, ≥ 1 % de macrovides, ou
2. Matériau loameux, de densité apparente ≤ 1,3, à degré de séparation moyen à élevé, polyédrique fin à moyen, environ 1 % de macrovides, ou
3. Sable loameux, fin à moyen, de densité apparente ≥ 1,5, peu de macrovides.

VP, très poreux, 15-20 %

1. Matériau argileux, de densité apparente ≤ 1,1, peds facilement séparables, fins et friables, nombreux macrovides, ou
2. Matériau loameux, de densité apparente ≤ 1,3, peds poreux, facilement séparables, fins, > 1 % de macrovides, ou
3. Sable loameux moyen, de densité apparente ≥ 1,4, ou
4. Horizon B podzolique à matériau sableux à loameux grossier, de densité apparente ≤ 1,1

EP, extrêmement poreux, > 20 %

1. Sable fin, < 5 % (limon + argile + matière organique), ou
2. Graviers, sables moyens à grossiers, sables fins à moyens avec 40 % de matériaux plus fins.

[1] On exprime les valeurs de la densité apparente en $Mg.m^{-3}$.

Capacité en eau disponible

Pour estimer la capacité en eau disponible (AWC), on utilise une méthode semblable à celle employée en Grande-Bretagne (Hodgson, 1976; Hall et al, 1977). Cette méthode diffère des autres, du fait que l'on utilise la densité apparente plutôt que la densité de tassement comme l'un des principaux paramètres, et que l'on n'établit pas de distinction entre les horizons A et les autres. Par ailleurs, le manque relatif de valeurs mesurées au Canada nous oblige à nous appuyer beaucoup plus sur les valeurs estimées, qui sont vérifiées par des mesures périodiques. Il reste à voir si les estimations basées sur la morphologie sont aussi valables que celles fournies par des modèles corrélant la capacité en eau disponible avec la texture ou avec la texture et la teneur en matière organique (De Jong et al, 1983).

Les estimations de la capacité en eau disponible sont basées sur la texture, la densité apparente, la structure et la teneur en matière amorphe, y compris en matière organique humifiée; il est nécessaire d'effectuer un étalonnage des estimations concernant les matériaux amorphes, par rapport aux valeurs mesurées. Il est utile de considérer la porosité totale estimée d'après la densité apparente, et d'après une valeur moyenne hypothétique de la densité des particules, à savoir 2,65 $Mg.m^{-3}$. Par exemple, supposons que la densité apparente d'un horizon minéral loameux (20 % d'argile) contenant très peu de matière amorphe soit 1,5 $Mg.m^{-3}$. On peut subdiviser sa porosité totale approximative, $\frac{2,65 - 1,5}{2,65} \times 100\ \% = 43\ \%$, entre : l'eau retenue à -1500 kPa, la capacité en eau disponible (-5 à -1500 kPa) et la capacité minimale pour l'air (0 à -5 kPa). L'eau retenue par les horizons argileux de caractère mixte à -1500 kPa représente approximativement 0,4 x 20 % d'argile en poids. La teneur volumétrique approximative en eau (à -1500 kPa) de l'horizon étudié serait 0,4 x % x 1,5 = 12 %. Le reste, soit 31 % (43 - 12) du volume de sol, représente la capacité minimale pour l'air et la capacité en eau disponible (AWC). La matière amorphe retient habituellement environ 1 gramme d'eau ou davantage à -1500 kPa par gramme de matière sèche. Ainsi, dans le cas d'un horizon B podzolique de densité apparente 0,8 $Mg.m^{-3}$ et contenant 15 % de matière amorphe et 5 % d'argile (silicate), la teneur approximative en eau à 1500 kPa (en volume) serait (0,4 x 5 % x 0,8) + (1,0 x 15 % x 0,8) = 14 %. La capacité minimale pour l'air, plus la teneur en eau disponible (AWC) de cet horizon, seraient approximativement $\left(\frac{2,6 - 0,8}{2,6} \times \right) - 14\ \% = 55\ \%$.

On peut estimer la teneur en eau disponible à l'intérieur de chaque horizon dans l'une des classes définies, ou bien au centième le plus proche. On définit la teneur en eau disponible comme le pourcentage volumétrique d'eau retenu entre -5 et -1500 kPa par des échantillons non remaniés. On doit vérifier les estimations basées sur les lignes directrices en comparant la somme de la teneur en eau disponible (AWC) estimée et de la capacité minimale pour l'air (AP) à la différence entre la porosité totale évaluée d'après la densité apparente et l'estimation de la quantité d'eau retenue à -1500 kPa. Si les valeurs sont incompatibles, on doit réévaluer les estimations des propriétés. Pour estimer la teneur en eau disponible d'un sol, on doit multiplier la teneur en eau disponible de chaque horizon par l'épaisseur de cet horizon jusqu'à la profondeur qu'atteignent les racines des plantes cultivées.

Les classes sont les suivantes :

Très faible :	< 5 % en volume
Faible :	5-9,9 %
Moyenne :	10-14,9 %
Modérément élevée :	15-19,9 %
Élevée :	20-24,9 %
Très élevée :	≥ 25 %

Les lignes directrices provisoires selon lesquelles on estime la teneur en eau disponible, et qui sont résumées au tableau 8, sont une liste de quelques-unes des propriétés morphologiques du sol que l'on associe à chacune des classes. On doit faire preuve de jugement en extrapolant ces lignes directrices aux autres conditions pédologiques, et l'on doit obtenir plus de valeurs mesurées relatives à la rétention de l'eau par une vaste gamme de sols. Pour estimer la teneur en eau disponible (AWC) des sols sableux, il est essentiel que l'on évalue les classes granulométriques dominantes de la fraction sableuse. Si le sable très fin est dominant, la teneur en eau disponible (AWC) est habituellement très élevée; si le sable moyen est le principal constituant, cette teneur peut être très faible.

Très faible, < 5 %

1. Loam sableux à loam, extrêmement graveleux ou blocailleux, ou
2. Sable loameux ou sable très graveleux contenant très peu de sable fin ou très fin et moins de 5 % de matériaux plus fins, ou
3. Sables moyens à grossiers contenant moins de 5 % de matériaux plus fins.

Faible, 5-9,9 %

1. Sables moyens à grossiers contenant 5-10 % de matériaux plus fins que du sable et des sables loameux moyens à grossiers contenant ≤ 5 % de matière amorphe, ou
2. Loam sableux très graveleux.

Moyenne, 10-14,9 %

1. Sables loameux moyens à fins de densité apparente 1,5 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
2. Argiles de densité apparente 1,5 à 1,7 $Mg.m^{-3}$.

Modérément élevée, 15-19,9 %

1. Sables fins contenant approximativement 5-10 % de limon + argile et ≤ 2 % de matière amorphe, ou
2. Loams sableux de densité apparente 1,7 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
3. Loams de densité apparente 1,6 $Mg.m^{-3}$ ou davantage, ou
4. Argiles de densité apparente approximative 1,4 $Mg.m^{-3}$.

Élevée, 20-24,9 %

1. Sables loameux fins contenant moins de 10 % de matière amorphe, ou
2. Loams sableux fins et loams de densité apparente 1,4 à 1,5 $Mg.m^{-3}$, ou
3. Loams argileux de densité apparente approximative 1,4 $Mg.m^{-3}$ ou
4. Argiles de densité apparente approximative 1,2 $Mg.m^{-3}$ et < 5 % de matière amorphe.

Tableau 8. Lignes directrices permettant d'estimer la capacité en eau disponible (5-1500 kPa)[1]

VL, très faible, < 5 %

1. Loam sableux - loam extrêmement graveleux, ou
2. Sable loameux ou sable très graveleux, très peu de matériaux plus fins, ou
3. Sable moyen à grossier, < 5 % de matériaux plus fins.

L, faible, 5-9,9 %

1. Sable moyen à grossier, 5 à 10 % de matériaux plus fins que du sable; sable loameux moyen à grossier, ≤ 5 % de matière amorphe ou
2. Loam sableux très graveleux.

M, moyenne, 10-14,9 %

1. Sable loameux moyen à fin, de densité apparente ≥ 1,5, ou
2. Argiles, de densité apparente 1,5-1,7.

MH, modérément élevée, 15-19,9 %

1. Sable fin, 5-10 % limon + argile et < 2 % de matière amorphe, ou
2. Loam sableux, de densité apparente ≥ 1,7, ou
3. Loam, de densité apparente ≥ 1,6, ou
4. Argile, de densité apparente approximative, 1,4

H, élevée, 20-24,9 %

1. Sable fin à loameux, < 10 % de matière amorphe, ou
2. Loam sableux fin et loam, de densité apparente 1,4-1,5, ou
3. Loam argileux, de densité apparente approximative 1,4, ou
4. Argile, de densité apparente 1,2, < 5 % de matière amorphe

VH, très élevée, > 25 %

1. Sable très fin loameux ou loam sableux très fin à fin, de densité apparente ≤ 1,5, ou
2. Loam-loam argileux, de densité apparente ≤ 1,3, ou
3. Sable-argile fine, de densité apparente < 1,0, > 10 % de matière amorphe.

[1] On exprime les valeurs de la densité apparente en $Mg.m^{-3}$, le terme d'"amorphe" désigne la matière amorphe y compris la matière organique; les complexes organiques de Fe-Al-Si, etc.

Très élevée, > 25 %

1. Sables loameux très fins ou loams sableux très fins à fins, de densité apparente 1,5 $Mg.m^{-3}$ ou moins, ou
2. Les loams et argiles loameuses de densité apparente 1,3 $Mg.m^{-3}$ ou moins, ou
3. Les sables fins, argiles et produits intermédiaires, de densité apparente inférieure à 1,0 et contenant plus de 10 % de matière amorphe.

Ce qui suit est un exemple de l'application de ces lignes directrices à la brève description d'un sol.

Horizon	Profondeur	
Ap	0-20	Loam sableux fin de densité apparente 1,4 $Mg.m^{-3}$ avec fragments friables plus petits que 3 cm.
Bm	20-50	Loam, de densité apparente 1,3 $Mg.m^{-3}$, peds facilement séparables, polyédriques moyens, friables.
BC	50-70	Loam, de densité apparente 1,7 $Mg.m^{-3}$, massif, de consistance ferme, avec très peu de macrovides.
Ck	70-120	Loam moyennement calcaire, de densité apparente, 8 $Mg.m^{-3}$, massif, de consistance ferme, pas de macrovides.

Pour calculer la teneur en eau disponible du sol, on doit suivre ces étapes :

1. Évaluer si les racines des plantes que l'on se propose de cultiver pourraient exploiter chacun des horizons.
2. Attribuer une classe de teneur en eau disponible (AWC) à chaque horizon qu'exploiteraient les racines.
3. Calculer la teneur en eau disponible (AWC) du sol en ajoutant (la moyenne de la classe AWC de l'horizon x profondeur de l'horizon) pour chaque horizon exploité par les racines.

Supposons que les observations effectuées sur des sols similaires aient démontré que très peu de racines de plants de maïs ont pénétré dans l'horizon BC. On ne considère que les horizons Ap et B pour calculer la teneur en eau disponible (AWC) de ce sol pour le maïs.

On place l'horizon Ap dans la classe AWC élevée (loam sableux fin, de densité apparente 1,4 $Mg.m^{-3}$). L'horizon Pm se situe dans la classe AWC très élevée (loam de densité apparente 1,3 $Mg.m^{-3}$). Les valeurs numériques que l'on a attribuées à la teneur en eau disponible (AWC) sont les suivantes : Ap, 22,5 % (milieu de la gamme de classe élevée) et Bm, 28 %.

Ainsi, pour le maïs, la teneur en eau disponible (AWC) du sol est (0,225 x 20 + 0,28 x 30) 12,9 cm ou 129 mm. Cette valeur représente approximativement la moitié de la valeur que l'on obtient en mettant en application les procédés actuels, qui supposent que l'eau est disponible jusqu'à une profondeur de 120 cm (Shields et Sly, 1984). Les classes AWC des horizons BC et Ck seraient de type moyen, mais ceci ne présente pas d'intérêt du point de vue de la croissance du maïs, si les hypothèses sont correctes.

DESCRIPTION DE LA MACROSTRUCTURE

En abordant ce sujet, nous sommes conscients du fait qu'il n'y a pas de façon unique ni meilleure de procéder à une description de la macrostructure du sol. Les opérations successives, le temps passé et le degré de détail de l'information enregistrée devraient dépendre à la fois des objectifs de la description et du talent et de l'expérience de l'observateur. Cette étude a pour objectif de démontrer aux nombreux pédologues et utilisateurs des sols qui ne sont pas familiarisés avec la notion de structure définie par un levé pédologique, que n'importe qui peut rapidement apprendre à décrire la macrostructure du sol pour le but recherché, et qu'il existe peu d'autres caractères importants du sol que l'on puisse évaluer avec autant de facilité. À l'intention des pédologues s'occupant de l'étude et de la cartographie des sols, travaux qui entrent dans le cadre des sciences de la nature, et pour élaborer une vaste gamme d'interprétations, nous espérons pouvoir indiquer quelques lignes directrices qui permettront de faire des descriptions meilleures et plus uniformes de la macrostructure du sol. Pour uniformiser de façon satisfaisante les descriptions, il est nécessaire de tenir sur le terrain des ateliers relatifs à la macrostructure.

Étapes de description de la macrostructure des sols

Ces descriptions comportent quatre étapes essentielles : décider pourquoi il faut décrire la macrostructure; choisir un site ou des sites où l'on décrira le sol; décider des étapes à suivre pour décrire la macrostructure; procéder selon un plan pour décrire et noter la macrostructure. On examine chacune de ces étapes.

Objectif d'une description de la macrostructure

En précisant pourquoi on décide de décrire la macrostructure, on réalise une étape importante qui influence le choix du lieu et du mode de description. Au Canada, la majorité des descriptions sont réalisées par des prospecteurs des sols, qui cherchent à caractériser les sols dans la région cartographiée. La plupart des prospecteurs acceptent l'opinion exprimée il y a plusieurs années par Kellogg (1937) selon laquelle la structure du sol est importante. Le rôle du prospecteur des sols est de décrire correctement la macrostructure du sol; on admet implicitement que quelqu'un finira par utiliser cette importante information. Presque tous les mémoires pédologiques établis au Canada contiennent des descriptions de la répartion pédique (mais non de la porosité) de pédons "typiques" qui constituent des exemples des principales séries. L'avènement du Système d'informatique des sols au Canada (SISCan) il y a plus d'une décennie a généralement incité les pédologues à décrire la porosité, parce que les formulaires contiennent un espace qui permet de décrire une sorte de vides. Toutefois, ce système a contribué à réduire l'intégrité des descriptions de la répartition pédique, parce qu'il est pratique de ne coder qu'une seule catégorie de distribution granulométrique, dimension et forme des peds par horizon, à moins que la répartition pédique ne soit de type composé. Ceci ne représente pas un problème pratique sérieux, parce qu'en fait, on utilise rarement l'information sur la macrostructure du sol dans un but précis. Il semble que l'Ontario Soil Survey (Levés des sols de l'Ontario) ait reconnu cette situation, puisque les prospecteurs des sols de l'Ontario ne décrivent plus couramment la macrostructure. Ainsi, même pour le principal producteur des descriptions de la macrostructure des sols, il est grandement nécessaire de réexaminer cet objectif.

Il est possible que les agronomes et les agriculteurs veuillent décrire la macrostructure, parce qu'elle représente une importante propriété du sol, permettant de déterminer la croissance des racines, et l'aération et le drainage du sol. À cette fin, le "schéma provisoire simple" précisé dans ce bulletin devrait suffire. On pourrait apprendre ce schéma lors de brefs ateliers tenus sur le terrain, et l'employer pour évaluer les effets de la macrostructure sur les diverses cultures, les diverses façons culturales, les divers amendements du sol, etc.

Les spécialistes du drainage doivent s'intéresser à la macrostructure du sol, qui est un important facteur dont dépend la capacité du sol à acheminer l'eau (McKeague et Topp, 1986). On pourrait appliquer de façon profitable à la planification du drainage le "schéma provisoire simple" décrit et les lignes directrices relatives à l'évaluation de la Ksat. Des descriptions intégrales de la répartition pédiques et de la porosité ne sont pas essentielles à l'accomplissement de cet objectif.

Les pédologues, tout comme les physiciens et les spécialistes tels que les évaluateurs fonciers, peuvent avoir différents objectifs, lorsqu'ils décrivent la macrostructure du sol. Pour obtenir de l'information utile, ils doivent commencer par spécifier leur objectif.

Choix du site

Le choix du site est l'une des étapes les plus importantes de la caractérisation des sols. En grandeur réelle, les sols sont variables du point de vue d'un grand nombre de leurs propriétés, y compris de leur macromorphologie (Wang et al., 1985a). Il est peu probable qu'en décrivant la morphologie du sol en un site unique choisi pour des raisons de facilité dans une ancienne percée routière ou à la lisière d'un champ, on puisse obtenir de l'information fiable qui puisse s'appliquer à ce champ. Le choix du site dépend de l'objectif, comme on l'a déjà mentionné. En règle générale, le site devrait être éloigné des routes, des fermes abandonnées, et d'autres lieux où le sol pourrait avoir des propriétés inhabituelles, à moins que l'on ne veuille étudier les variations de la morphologie causées par la présence de routes, etc.

On donne des exemples des étapes que l'on pourrait suivre en choisissant les sites en vue d'objectifs spécifiés.

1. On commence par préparer une description du pédon modal d'une série, et par indiquer le degré de variabilité que présente la morphologie des pédons de cette série dans une zone où l'on entreprend un projet de prospection pédologique.

    a. On décrit au cours du levé la morphologie des pédons de la série en question. De préférence, on fait un grand nombre des descriptions le long de transects stratifiés aléatoires (Wang, 1982), de façon à éviter les distorsions.

b. On analyse les descriptions, et l'on note les détails morphologiques les plus fréquents (modaux) et la gamme de ces détails.
c. On numérote les secteurs où l'on estime que le pédon modal est le sol dominant, et l'on en prend un au hasard.
d. On inspecte le sol dans ce secteur pour s'assurer qu'il satisfait aux exigences modales. Si c'est le cas, on le décrit en détail. Sinon, on prend au hasard un autre secteur parmi ceux mentionnés dans "C".
e. On note la morphologie du pédon modal et sa gamme de propriétés avec une marge approximative d'un écart type.

2. On détermine ensuite si le médiocre développement des cultures dans un champ donné est le résultat d'une médiocre structure du sol.

a. On examine et l'on note la morphologie du sol, la profondeur d'enracinement et le développement des récoltes à l'emplacement de chacun de dix points environ également espacés, le long d'un transect aléatoire traversant le champ.

b. On analyse l'information pour évaluer la façon dont la structure est liée à la croissance en profondeur et au-dessus du sol des plantes cultivées.
c. On formule les conclusions, ou l'on prévoit d'autres essais et analyses si nécessaire.

Décisions sur les étapes à suivre

Le type et le degré de détail des descriptions de la morphologie qui nous sont nécessaires dépendent de l'objectif de la recherche. Par exemple, si l'on décrit la morphologie d'un pédon modal d'une série, on doit faire une description intégrale de la macrostructure. Cette description doit comprendre l'information semi-quantitative sur la dimension, la forme et la disposition des vides et des peds. On doit creuser un grand trou dans le sol jusqu'à une profondeur de 1,5 à 2 m, et l'on passe sans doute au moins une demi-journée à décrire de façon complète la structure.

Si par ailleurs, on cherche à évaluer l'état physique de la surface afin d'établir un lit de semis pour de l'herbe, les opérations requises sont très différentes. De toute évidence, on doit examiner la couche de surface jusqu'à une profondeur de 5 à 10 cm en des points pris au hasard dans le champ. On doit décrire dans cette couche le degré de séparation, la dimension, la forme et la disposition des peds ou fragments et vides, outre la consistance de ces peds ou fragments. On doit donner des estimations de la densité apparente, de la Ksat verticale et de la capacité minimale pour l'air. On doit évaluer si le travail du sol est nécessaire à l'établissement d'un lit de semis convenable. Les qualités désirables de la surface sont les suivantes : stabilité élevée, structure granulaire fine avec vides abondants, présence de peds friables, densité apparente faible à moyenne (1,0-1,4 $Mg.m^{-3}$ selon la texture), Ksat élevée et capacité minimale pour l'air de 10 % ou davantage. Certaines autres caractéristiques de la structure conviennent aussi et il convient de porter un jugement sur celles-ci.

Description et notation de la macrostructure

Après avoir préparé les étapes à suivre pour décrire la macrostructure du sol dans le but prévu, on doit en dernier lieu suivre le plan établi et noter les éléments recherchés de la structure et les estimations basées sur l'examen de la macrostructure. Dans le paragraphe qui suit, on cherche à indiquer comment accomplir cette étape finale à la fois dans le cadre du schéma simple esquissé antérieurement, et dans le cas des descriptions détaillées. On postule que l'on a choisi un ou plusieurs sites selon les lignes directrices antérieurement précisées.

Système simple

1. On creuse ou l'on fait creuser un trou ou une fosse dans le sol jusqu'à la profondeur désirée. On choisit les deux parois du trou qui seront le mieux exposées à la lumière, et l'on évite de s'installer à la surface du sol adjacente à ces parois ou de pelleter du sol sur cette surface. En général, le trou doit se prolonger de 20 à 30 cm au-dessous de la couche la plus profonde que l'on veut décrire. On peut déduire un grand nombre de détails sur la structure et la consistance du sol tout en creusant le trou. En creusant, on peut examiner la fermeté relative des couches, la mesure dans laquelle les pelletées de sol restent intactes ou se désagrègent, et l'abondance des fissures et vides tubulaires principaux.

2. On attaque une ou de préférence deux parois du trou, de façon à briser le sol le long des surfaces naturelles de moindre résistance, lorsqu'elles existent. On doit attaquer la paroi de haut en bas et de gauche à droite si l'on est droitier. On peut employer un couteau rigide ou tout autre instrument.

3. Après avoir attaqué le profil, on y examine les principaux détails tels que l'existence de fissures verticales, de peds distincts limités par des vides plans, de couches de structure, texture, couleur différentes, etc. On note ces détails, et la profondeur à laquelle ils apparaissent, ou bien leur fréquence.

4. On examine en détail le sol des couches ou horizons évidents, pour s'assurer qu'ils sont plus ou moins homogènes en profondeur. S'ils ne le sont pas, on cherche à identifier une limite qui sépare le mieux possible la couche initialement observée en deux couches distinctes.

5. On identifie les couches ou horizons jusqu'à la profondeur qui nous intéresse, en employant des clous et de la corde, ou tout autre matériau approprié.

6. On observe la surface du sol, après avoir dégagé la végétation si nécessaire, dans une zone de 30 cm x 30 cm ou plus grande, à proximité d'une paroi choisie de la fosse. On note si la surface du sol paraît lisse ou non cohérente; si elle n'est pas cohérente, on note la gamme granulométrique des fragments. On note aussi la largeur, la fréquence et la disposition de toutes les fissures, ainsi que l'abondance et le calibre des vides tubulaires ouverts en surface. On peut estimer le pourcentage approximatif de la surface occupée par les vides tubulaires en se référant à la figure 1.

7. On décrit chaque horizon suffisamment en détail pour pouvoir le placer dans l'une des 14 sous-classes définies. On effectue ce travail en deux étapes : (i) on fragmente une motte de sol d'environ 10 cm x 10 cm ou plus grande prélevée sur l'épaisseur de l'horizon, en pressant la motte avec les mains pour déterminer si celle-ci se sépare, et se sépare facilement, le long de surfaces de moindre résistance en peds, et l'on note le degré de séparation, la dimension et la forme des peds, et (ii) on effectue une coupe latérale approximativement à travers la partie médiane de l'horizon, on dégage la surface, et l'on estime la surface occupée par les vides tubulaires en faisant appel à la figure 1. On place chaque horizon dans une sous-classe de structure.

8. On examine la structure générale du sol en comparant les observations aux notes enregistrées et à la sous-classe attribuée, et l'on corrige toute discordance.

9. On estime pour chaque horizon ou couche les propriétés telles que la Ksat verticale et la Ksat horizontale, la capacité minimum pour l'air, etc., requises par le plan, en conformité avec les lignes directrices précisées auparavant. L'évaluation de la texture en pétrissant un échantillon de sol, est préalablement nécessaire aux estimations de la plupart des autres propriétés.

10. On évalue les propriétés générales de la séquence d'horizons ou de couches dans l'échantillon de pédon examiné, en rapport avec les objectifs du travail de recherche. Par exemple, si l'on cherche à estimer la capacité du sol à emmagasiner l'eau utilisable par un type particulier de plante cultivée, et si les racines de cette plante ne vont pas plus loin qu'une couche compacte située à une profondeur de 20 cm, on doit estimer la capacité en eau disponible de cette seule couche de 0-20 cm.

Système détaillé

On peut employer les étapes qui viennent d'être énumérées dans un site particulier et sélectionné en conformité avec les lignes directrices établies. Pour satisfaire aux objectifs de cette recherche, il est nécessaire de décrire un ou plusieurs pédons.

1. On creuse une fosse jusqu'à une profondeur de 20 à 30 cm au-dessous de l'horizon le plus profond que l'on veut décrire. La coupe témoin sur laquelle est basée la classification des sols minéraux au Canada atteint une profondeur de 2 m ou moins, selon la profondeur du solum (Comité canadien d'experts sur la prospection pédologique, 1978). Ainsi, dans le cas de descriptions détaillées des pédons où l'on a effectué un échantillonnage pour caractériser les sols à l'intérieur d'unités cartographiques, il est parfois nécessaire de creuser des trous jusqu'à une profondeur d'environ 225 cm. Il est alors nécessaire de tenir compte de la stabilité du matériau et de prendre les précautions pour éviter l'affaissement du sol et par la même occasion, l'enterrement prématuré du pédologue. À certains égards, il est désirable de décrire le sol jusqu'à une profondeur de plusieurs mètres. Si l'on ne trouve pas de profondes percées routières ou des rives de cours d'eau fortement entaillées, on peut employer des appareils de carottage lorsqu'on en dispose, pour obtenir des échantillons relativement peu remaniés. Les dimensions latérales de fosses convenables dépendent de plusieurs facteurs. Lorsque le pédon présente une série cyclique d'horizons, la longueur de la fosse doit au minimum dépasser de 50 % l'épaisseur du cycle. Si l'excavation a environ 2 m de profondeur, sa longueur doit être de 2 m ou plus et sa largeur d'environ 70 cm, pour que l'on puisse creuser et échantillonner le sol. Dans les sols profonds pierreux ou tassés, il est nécessaire d'utiliser des excavatrices pour creuser des fosses de dimensions suffisantes.

2. On attaque une ou plusieurs faces de l'excavation exposées à la lumière, comme on l'a décrit dans le "système simple", de façon à mettre en évidence la structure du sol. Tout en effectuant ce travail, on note les fissures verticales, les peds distincts, les couches de texture ou de composition différentes et d'autres détails morphologiques importants.

3. On examine en détail les couches ou horizons évidents, pour vérifier s'ils sont suffisamment homogènes en profondeur; sinon, on cherche à établir des limites. On délimite les couches et horizons comme on l'a décrit dans le cas du système simple.

4. On observe la surface du sol à proximité d'une paroi attaquée de l'excavation, comme on l'a indiqué dans le système simple. La région observée doit avoir au moins 30 cm par 30 cm, et au moins deux fois la

largeur de tout polygone séparé par de grandes fissures. On note la largeur, la distribution et la continuité de toutes les fissures, la dimension et l'abondance de tous les vides tubulaires (utilisez la figure 1), la cohérence des matériaux de surface (s'ils sont meubles, notez la dimension et la forme des fragments) et la rugosité de la surface. Lorsqu'il est difficile de déterminer si les fissures, les vides tubulaires ou autres macrovides pénètrent bien dans le sol, on verse une solution à 0,1 % de bleu de méthylène dans le vide (ou dans un cadre métallique de 10 x 10 cm environ introduit dans la surface) et l'on creuse avec précaution le sol de façon à observer les parois des vides teintées de bleu.

5. On étudie la répartition pédique, si elle existe, de l'horizon supérieur, tout d'abord en observant les formes et dimensions des peds et de tout vide plan décelable entre ces peds dans la paroi attaquée de l'excavation. Puis l'on dégage une grosse motte, comme on l'a décrit dans le cas du système simple, et on la presse entre les mains pour la fragmenter. Notez la force nécessaire pour fragmenter la motte et les dimensions et formes des peds ou fragments qui se séparent. Si la motte se désagrège facilement et presque entièrement en unités de dimensions et formes similaires, il s'agit probablement de peds, et la répartition pédique est fortement définie. On examine les plusieurs types possibles de peds de la façon suivante : i. on applique une force légère pour voir si les peds se séparent en peds plus petits; si c'est le cas, on note leurs formes et dimensions, et l'on cherche à voir s'ils se subdivisent à nouveau le long de plans naturels de moindre résistance; ii. on fragmente plusieurs peds mis en évidence, et l'on observe les surfaces de fracture fraîches, et la surface apparemment naturelle du ped. Habituellement, les surfaces naturelles diffèrent des surfaces de fracture du point de vue de leur couleur, de leur régularité apparente ou d'autres propriétés. Après un examen détaillé, on décrit les vides et peds selon le système semi-quantitatif esquissé.

Il est important de décrire les peds composés en partant du principe selon lequel les peds les plus gros sont des peds primaires qui se séparent successivement en peds secondaires, tertiaires, etc. On doit aussi noter la consistance des peds et l'humidité relative du sol au moment où l'on décrit celui-ci : mouillé (>-1 kPa), très humide (-1 à -30 kPa); humide (-30 à -1500 kPa); sec (<-1500 kPa). Idéalement, on peut directement mesurer la teneur en eau en faisant appel à la TDR (Topp et al., 1984). L'horizon peut se désintégrer facilement en agrégats ou en particules primaires de 0,5 mm de diamètre ou moins. Dans de tels cas, il est parfois impossible de déterminer in situ si les petites unités sont des peds ou fragments et si l'on doit décrire le sol comme étant de type apédique. Les descriptions de la consistance de ce type d'horizon (très friable ou friable) et les estimations de sa porosité et de sa densité apparente doivent indiquer si l'état physique du sol convient à la croissance des végétaux. La notion selon laquelle les sols apédiques (ou non structurés) sont médiocres a incité certains pédologues à attribuer une structure granulaire aux horizons friables dans lesquels on ne peut déceler de peds.

6. On procède systématiquement vers le bas, en observant à la fois la coupe verticale et une coupe horizontale pratiquée à travers la partie médiane de chaque horizon, et aussi en observant les mottes prélevées isolément dans la paroi de l'excavation. On note l'information sur les vides et peds s'ils existent. On note aussi le degré de continuité des vides à partir de l'horizon supérieur. Il est parfois utile d'observer le réseau de racines pour déceler la disposition et la continuité des vides, surtout dans les horizons de consistance ferme. On note la consistance des peds lorsqu'ils existent, et l'on estime les propriétés liées à la structure telle que la Ksat, la capacité minimale pour l'air, etc., comme nécessaire, en conformité avec les lignes directrices.

7. On évalue tout le profil structural, en notant la continuité des macrovides et le degré auquel les peds, lorsqu'ils existent, sont alignés ou décalés, le réseau de racines et la présence de toute discontinuité ou de toute couche compacte que ce réseau peut indiquer. On vérifie l'évaluation semi-quantitative de la structure de chaque horizon, et les estimations des propriétés connexes, à la lumière de cet examen. On réexamine les horizons et l'on modifie les descriptions si nécessaire.

8. On vérifie que la description est clairement notée dans un mode de présentation qui sera compréhensible des années plus tard. Les formulaires de codage actuellement utilisés ne conviennent pas. Par exemple, les formulaires du Système d'informatique des sols du Canada (SISCan) ne permettent de décrire qu'une seule sorte de vide et une seule sorte de ped par horizon. On peut élaborer des formulaires convenables à condition d'affiner le système de description en vue de son emploi généralisé.

EXEMPLES D'INTERPRÉTATIONS BASÉES SUR LA MACROSTRUCTURE

Évaluation de l'influence du mode d'exploitation des terres sur l'état physique du sol

Dans les basses-terres argileuses de la région des Grands lacs et du Saint-Laurent, on s'inquiète de la dégradation de la structure des sols à laquelle est parfois associée une croissance médiocre du maïs (Zea mays, L.). On a évalué l'importance de la dégradation en employant toute une diversité de méthodes dont certaines sont longues (Coote et Ramsay, 1983). Wang et al. (1985a) ont mis à l'épreuve l'hypothèse selon laquelle les différences de structure associées aux degrés de compactage par les machines lourdes ou associées à d'autres facteurs étaient décelables, et pouvaient être corrélées avec les valeurs Ksat (verticales) des horizons touchés. Des recherches préliminaires ont montré que l'horizon le plus sérieusement touché était la partie inférieure de l'horizon Ap (environ 10-25 cm), et parfois à un degré moindre, l'horizon sous-jacent B jusqu'à une profondeur de 40 cm environ. On a rapidement évalué la structure de ces horizons, plus ou moins selon le système simple esquissé dans cet ouvrage, et l'on a estimé la Ksat verticale selon les lignes directrices, en plusieurs points de transects traversant des champs adjacents de maïs et foin. Dans tous les cas, le sol était un gleysol humique orthique dont la texture de surface se situe entre celles d'un loam argileux et d'une argile lourde. On a sélectionné les champs de façon à

inclure ceux servant à la culture du maïs pendant des périodes comprises entre une année et plus de 15 années consécutives, et d'autres servant à la production de foin pendant diverses périodes.

La macrostructure des horizons Ap2 se situait entre la sous-classe IB dans certains des champs de maïs utilisés à long terme et V11B dans certains champs de foin. Les estimations connexes de la classe Ksat allaient respectivement de L2 à H2. Des mesures de la Ksat effectuées avec un perméamètre à entrée d'air, à l'emplacement d'environ ¼ des points décrits, ont indiqué que la classe Ksat de l'horizon Ap2 avait été correctement estimée dans plus de la moitié de 33 cas, et avec une marge d'erreur d'une classe, et cela dans tous les cas sauf un. La macrostructure de l'horizon Ap2 et les estimations connexes de la Ksat étaient variables à l'intérieur même des champs de maïs. Par exemple, dans l'un des champs les plus médiocres, la macrostructure de l'horizon Ap2 se situait entre 1B et VA, et les estimations connexes de la Ksat allaient de L2 à M3.

Visiblement, la récolte de maïs a été influencée par la structure du sol. Dans un nouveau champ (première année après la récolte du foin), les racines étaient abondantes dans les 40 cm supérieurs de sol environ, et la croissance des plantes était uniforme et excellente. Par ailleurs, dans les champs les plus médiocres de culture à long terme du maïs, les racines ont continué à pousser en s'étalant au sommet de l'horizon Ap2, et certaines d'entre elles se sont enfoncées à travers des fissures. Au-dessus du sol, la croissance des plantes était médiocre et sporadique, avec de nombreuses zones de sol nu apparemment en rapport avec la stagnation de l'eau.

Il suffisait d'observer la macrostructure pendant environ 10 minutes en un site donné et pendant une heure ou deux dans un champ, pour évaluer le degré d'influence du mode d'utilisation du sol sur l'état physique de ce sol.

Une évaluation de cette sorte, au moyen de mesures in situ de la résistance à la pénétration, de la vitesse de diffusion de l'oxygène, etc., accompagnée d'un travail d'échantillonnage qui permet de mesurer la densité apparente, la rétention de l'eau, etc., exigerait au moins 10 fois le nombre habituel d'heures-personnes. Des données "quantitatives" sont souhaitables, mais ce dernier type d'évaluation de la dégradation de la structure n'est possible qu'en quelques sites expérimentaux. De plus, on peut exprimer de façon semi-quantitative les estimations de la Ksat (Kv et Kh), de la densité apparente, etc., et les soumettre à des manipulations statistiques. Il est important de se rappeler que les données dites "factuelles" provenant de la mesure de propriétés telles que la densité apparente sont des estimations basées sur de nombreuses hypothèses, dont l'une est que les carottes d'échantillonnage sont vraiment intactes.

Évaluation des propriétés du sol vis-à-vis de l'air et de l'eau

En soumettant à une épreuve préliminaire des lignes directrices semblables à celles présentées dans ce rapport, on a constaté que l'on pouvait estimer avec un degré raisonnable de succès les propriétés fondamentales d'un sol vis-à-vis de l'air et de l'eau, d'après des observations de la macromorphologie de ce sol (Bullock et McKeague, 1984). On résume ici les propriétés estimées et le degré de concordance des estimations avec les valeurs mesurées.

Les estimations de la Ksat correspondaient aux classes mesurées à une classe près, comme les résultats donnés par une mise à l'épreuve antérieure (McKeague et al., 1982).

Capacité en eau disponible. Les estimations correspondaient, avec une marge d'erreur de 2 %, à la valeur mesurée (obtenue sur les carottes d'échantillonnage) excepté dans un horizon (sur 6 ayant fait l'objet de comparaisons). Dans le cas de cet horizon, la valeur mesurée était 23 % et l'estimation 14 %.

Capacité minimale pour l'air. Les estimations relatives à 5 des 7 horizons se rapprochaient avec une marge de 3 % des valeurs mesurées, qui allaient de 1 à 26 %. Les deux autres s'en éloignaient de 6 %, l'une représentait un maximum, l'autre un minimum. Il faudrait faire d'autres tests pour vérifier que les valeurs mesurées sont supérieures, étant donné qu'elles provenaient de l'information obtenue sur des carottes de seulement 100 cm^3.

On a correctement estimé la densité de tassement (Hodgson, 1976) seulement pour 6 des 7 horizons. Ceci implique que l'on a fait des estimations raisonnables de la densité apparente et de la teneur en argile, étant donné que l'on définit la densité de tassement comme la densité apparente ($g.cm^{-3}$) + 0,009 % d'argile.

Ces résultats préliminaires et d'autres obtenus depuis 1984 sont suffisamment prometteurs, pour que l'on juge souhaitable de mieux vérifier les estimations des propriétés vis-à-vis de l'air et de l'eau comparativement aux valeurs mesurées, et d'affiner les lignes directrices appliquées aux estimations, selon le besoin. Il est important de se rappeler que les organismes de prospection pédologique utilisent des procédés très différents pour déterminer des paramètres pédologiques importants comme la capacité en eau disponible (McKeague et al., 1984). En appliquant les procédés britannique et canadien, on donnerait des estimations de 350 mm et 110 mm respectivement dans le cas du loam sableux très fin de

Piperville. Le vaste écart résulte de la différence des gammes de rétention dans lesquelles on estime que l'eau est disponible (-5 à -1500 kPa, en Grande-Bretagne; -33 à -1500 kPa, au Canada). Selon les critères appliquées en Allemagne de l'Ouest, la capacité en eau disponible du sol de Piperville dépasserait 350 mm parce qu'une certaine quantité d'eau capillaire passerait du niveau phréatique à la zone des racines. Le problème est que les valeurs attribuées à la capacité en eau disponible, etc., d'après les valeurs mesurées, ne valent pas mieux que les hypothèses formulées. Ainsi, même des estimations très approximatives de ces propriétés, fondées sur l'examen direct du sol, sont sans doute préférable à celles fondées sur des mesures des propriétés de quelques échantillons, et sur l'application des critères normalisés. Ceci est surtout vrai des sols dans lesquels une couche compacte proche de la surface empêche la pénétration des racines. En mesurant le degré de rétention de l'eau par le sol de carottes prélevées jusqu'à une profondeur de 120 cm, et en admettant comme habituellement que les racines soutirent l'eau jusqu'à une profondeur de 120 cm, on surestimerait grandement la quantité d'eau accessible aux plantes dont les racines pénètrent seulement jusqu'à une profondeur de 20 cm.

Ce raisonnement est conforme à l'habitude des organismes de prospection pédologique, d'extrapoler des données factuelles concernant un ou deux pédons modaux d'une série, à de vastes superficies où cette série est dominante. On obtient ainsi de très mauvaises estimations de certaines propriétés du sol, parce que l'utilisation des terres a une influence majeure sur des propriétés telles que la capacité minimale pour l'air et la capacité en eau disponible dans les 30 cm supérieurs de sol environ. Un meilleur procédé consisterait à estimer ces propriétés in situ d'après la morphologie du sol. On pourrait alors extrapoler les données factuelles obtenues pour certains pédons à d'autres pédons de la même série, dans la même catégorie d'utilisation des terres. Ceci permettrait de vérifier rapidement les estimations directement fondées sur la morphologie.

CONCLUSIONS

Le message essentiel de ce rapport est le suivant : pour être utiles et cohérentes, les descriptions de la structure du sol peuvent être rendues conformes à un petit nombre de conditions :

1. La personne qui fait la description doit disposer d'une certaine formation du point de vue des notions et de la terminologie nécessaires à ce travail. Il peut être formé en quelques jours, ce qui implique un peu d'entraînement pratique sur le terrain. Les diplômés en pédologie n'auraient besoin que de réviser quelques notions et de participer à quelques ateliers sur le terrain.

2. La personne qui fait la description doit se fixer un objectif clair. La sorte de description requise dépend de cet objectif.

3. Dans la plupart des cas, les estimations des propriétés du sol, importantes pour la réalisation de l'objectif, doivent être fondées sur la description faite conformément aux lignes directrices disponibles. Par exemple, si l'on décrit la structure pour mieux évaluer la drainabilité du sol, on doit estimer la Ksat verticale et horizontale des horizons.

4. On doit vérifier aussi souvent que possible les estimations, en procédant à des mesures. Si l'on estime la densité apparente pour évaluer le tassement, on doit prélever périodiquement des carottes ou des échantillons de mottes, mesurer la densité apparente et vérifier les estimations. On doit réviser les lignes directrices si nécessaire.

5. On doit vérifier les descriptions de la structure et les estimations fondées sur ces dernières, en comparant ces résultats aux descriptions et estimations indépendantes obtenues par des collègues. Si les résultats ne concordent pas, on doit procéder si possible à de nouvelles mesures pour résoudre le problème.

On pourra de mieux en mieux décrire et évaluer la structure du sol, si l'on fait des efforts suivis pour décrire objectivement le sol, en se servant des lignes directrices pour estimer les propriétés du sol dans le cadre de l'objectif poursuivi, en vérifiant les estimations par des mesures directes, ou en gardant des relevés du comportement du sol, et en améliorant les lignes directrices que l'on emploie pour les estimations, en fonction de l'expérience acquise et des essais réalisés. Il faut admettre qu'il n'existe pas d'autres lignes pratiques pour réaliser des évalutions utiles des propriétés du sol en rapport avec les divers usages possibles des terres dans un pays aussi vaste que le Canada. Même si tous les pédologues du pays passaient toute leur vie pendant le siècle prochain à mesurer la densité apparente, la capacité minimale pour l'air, la capacité en eau disponible, la Ksat, etc. des pédons qui représentent des séries de sol dans les divers systèmes d'utilisation des terres, on ne disposerait quand même pas d'une base suffisante de données factuelles permettant des extrapolations fiables aux sols de toutes les régions. La seule méthode pratique est d'estimer les propriétés du sol d'après la morphologie de celui-ci, de vérifier les estimations par des mesures faites avec soin dans quelques sites, et d'améliorer les lignes directrices applicables aux estimations.

À l'intention des pédologues expérimentés, l'autre message fondamental est que la porosité est un élément au moins aussi important de la structure du sol que la répartition pédique. Nous sommes entraîné à décrire les peds, mais non les vides. On doit davantage s'intéresser aux macrovides, lorsqu'on décrit la structure du sol. Naturellement, dans les sols foisonnants, la largeur des principaux vides plans au moment de la description dépend de l'état d'humidité du sol. On peut déduire de l'information utile relativement au retrait du sol, en mesurant la largeur et l'abondance des macrovides plans, et la teneur en eau de chaque horizon. Éventuellement, on peut mesurer la largeur des vides plans en présence d'autres teneurs en eau. Les vides tubulaires sont moins influencés par les phénomènes de retrait et de foisonnement.

Les systèmes esquissés de description de la macrostructure, et les lignes directrices suggérées pour estimer les propriétés telles que la Ksat, la capacité en eau disponible, etc., doivent servir de points de départ dans l'accomplissement des efforts pour améliorer les systèmes et les lignes directrices. Nous espérons que ce fascicule incitera un grand nombre de pédologues et d'utilisateurs des sols à réexaminer la structure du sol, à essayer les solutions suggérées, et à proposer des améliorations à ces suggestions.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier de sa participation Clarke Topp, qui a mis au point et fourni un grand nombre des instruments de mesure utilisés; les nombreux pédologues, étudiants et autres qui ont aidé à tester les lignes directrices; les personnes qui ont organisé des ateliers sur les interprétations de la structure du sol; Jeff Whalen et Randy Ricketts de Terre-Neuve; Delmar Holmstrom de Nouvelle-Écosse; Herb Rees du Nouveau-Brunswick; et Ted Presant de l'Ontario; et Conrad Veer qui a suggéré l'évaluation du degré de rétention de l'eau à 1500 kPa.

BIBLIOGRAPHIE

Brewer, R. 1964. Fabric and Mineral analysis of soils. Wiley. 470 pp.

Bullock, P. and McKeague, J.A. 1984. Estimating air-water properties of a clay soil. In Comptes Rendu du Colloque, Fonctionnement Hydrique et Comportement des Sols. AFES, 4 rue Redon, 78370 Plaisir, France.

Le Comité d'experts sur la prospection pédologique au Canada. 1978. Le système canadien de classification des sols. Publication du ministère de l'Agriculture du Canada, 1946, Approvisionnements et Services, Canada, Ottawa.

Coote, D.R. and Ramsey, J.F. 1983. Quantification of the effects of over 35 years of intensive cultivation on four soils. Can. J. Soil Sci. 63:1-14.

Day, J.H. (éditeur). 1983. Manuel de description des sols sur le terrain. Institut de recherche sur les sols, 82-52. Agriculture Canada, Ottawa.

DeJong, R., Campbell C.A. and Nicholaichuk W. 1983. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. Can. J. Soil Sci. 63:291-302.

Hall, D.G.M., Reeve, J.J., Thomasson, A.J. and Wright, V.F. 1977. Water retention, porosity and density of field soils. Soil Survey Technical Monograph No. 9. Harpenden, England.

Hodgson, J.M. ed. 1976. Soil survey field handbook. Tech. Monograph No. 5. Soil Survey of England and Wales. Harpenden.

Joel, A.H., Mitchell, J., Edmunds, F.H. and Moss H.C. 1936. Soil survey of Saskatchewan. Soil Survey Rept. No. 10, Univ. of Saskatchewan, Saskatoon.

Johnson, W.M., McClelland, J.E., McCaleb, S.B., Ulrich, R., Harper, W.G. and Hutchings, T.B. 1960. Classification and description of soil pores. Soil Sci. 89, 319-321.

Jongerius, A. 1959. The morphological soil structure classification of the Dutch soil survey institute. Rijksfaculteit Landbouw Wetenschappen Mededelingen, 24:206-213.

Kellogg, C.E. 1937. Soi. survey manual. U.S.D.A. Misc. Publ. No. 274, Washington, D.C.

McKeague, J.A., Eilers, R.G., Thomasson, A.J., Reeve, M.J., Bouma, J., Grossman R.B., Favrot, J.C., Renger, M. and Strebel, O., 1984. Tentative assessment of soil survey approaches to the characterization and interpretation of air-water properties of soils. Geoderma 34:69-100.

McKeague, J.A. and Topp, G.C. 1986. Pitfalls in interpretation of soil drainage from soil survey information. Can. J. Soil Sci. (sous presse).

McKeague, J.A. and Wang C. 1982. Soil structure: concepts, description and interpretation. LRRI 82-15. Agr. Can., Ottawa (épuisé).

McKeague, J.A., Wang, C. and Topp, G.C. 1982. Estimating saturated hydraulic conductivity from soil morphology. Soil Sci. Sec. Am. J. 46:1239-1244.

Peerlkamp, P.K. 1959. A visual method of soil structure evaluation. Rijksfaculteit Landbouw Wetenschappen Mededelingen, 24:216-221.

Soane, B.D., Dickson, J.W. and Campbell, D.J. 1982. Compaction by agricultural vehicle: A review III. Incidence and control of compaction in crop production. Soil and Tillage Research 2:3-36.

Soil Survey Staff, 1951. Soil survey manual. U.S.D.A. Handbook No. 18.

Soil Survey Staff, 1981 draft. Revised U.S. Soil survey manual draft. U.S.D.A. Washinton, D.C.

Topp, G.C. and Binns, M.R. 1976. Field measurement of hydraulic conductivity with a modified air-entry permeameter. Can. J. Soil Sci. 56:139-147.

Topp, G.C. Davis, J.L., Bailey, W.G. and Zebchuk, W.D. 1984. The measurement of soil water content using a portable TDR hand probe. Can. J. Soil Sci. 64:313-321.

Topp, G.C. and Sattlecker S., 1983. A rapid measurement of horizontal and vertical components of saturated hydraulic conductivity. Can. Agri. Eng. 25:193-197.

Topp, G.C., Zebchuk, W.D. and Dumanski, J. 1980. The variation of in situ measured soil water properties within soil map units. Can. J. Soil Sci. 60, 497-510.

Wang, C. 1982. La méthode du transect et son application aux problèmes de la prospection pédologique, Institut de recherche sur les sols, 82-02. Agriculture Canada. Ottawa.

Wang, C., McKeague, J.A. and Switzer-Howse, K.D. 1985a. Saturated hydraulic conductivity as an indicator of structural degradation in clayey soils of the Ottawa area, Canada. Soil Tillage Res. 5:19-31.

Wang, C. McKeague, J.A. and Topp, G.C. 1985b. Comparison of estimated and measured horizontal Ksat values. Can. J. Soil Sci. 65 (sous presse).

Wyatt, F.A., Bowser, W.E. and Odynsky, W., 1939. Soil survey of Lethbridge and Pincher Creek sheets. Bull. No. 32, Univ. of Alberta, College of Agriculture, Edmonton.